



Universidade Federal de Santa Catarina
Centro Tecnológico
Departamento de Engenharia Civil

Luiza Fert

**ANÁLISE DE TRÁFEGO DE UMA INTERSEÇÃO
UTILIZANDO MICROSSIMULAÇÃO**

28 de julho de 2014

Luiza Fert

**ANÁLISE DE TRÁFEGO DE UMA INTERSEÇÃO
UTILIZANDO MICROSSIMULAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado pela acadêmica Luiza
Fert à banca examinadora do
Curso de Graduação em Enge-
nharia Civil da Universidade Fe-
deral de Santa Catarina como
requisito parcial para obtenção
do título de Engenheiro Civil.

Professor orientador: Alexandre
Hering Coelho, Dr.

28 de julho de 2014

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Fert, Luiza

ANÁLISE DE TRÁFEGO DE UMA INTERSEÇÃO UTILIZANDO
MICROSSIMULAÇÃO / Luiza Fert ; orientador, Alexandre
Hering Coelho - Florianópolis, SC, 2014.
104 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico.
Graduação em Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia Civil. 2. Microsimulação. 3. Engenharia
de Tráfego. I. Coelho, Alexandre Hering. II. Universidade
Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Civil.
III. Título.

Luiza Fert

ANÁLISE DE TRÁFEGO DE UMA INTERSEÇÃO UTILIZANDO MICROSSIMULAÇÃO

Este trabalho de conclusão de curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Engenheiro Civil”.

Florianópolis, julho de 2014.

Prof. Luis Alberto Gómez, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:



Prof. Alexandre Hering Coelho, Dr.
Orientador

Prof.^a Lenise Grando Goldner, Dr.^a

Jorge Destri, Dr.

Agradecimentos

Aos meus pais por sempre incentivarem o estudo e me apoiarem durante todas as etapas da vida.

A todos os professores da graduação que contribuíram para minha formação como engenheira e proporcionaram os conhecimentos necessários para a realização deste trabalho.

Ao professor Alexandre pela orientação, ideias e auxílio em todas as etapas deste trabalho.

A todos meus amigos e colegas que me acompanharam no período da graduação e anterior.

Ao LabTrans, onde tive oportunidade de realizar o estágio na mesma área deste trabalho e pela convivência durante estes meses.

Por fim, a todos que contribuíram de alguma forma para este trabalho.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo a aplicação da técnica de microsimulação de tráfego na análise de uma interseção no município de Florianópolis. Foi modelado o cenário atual, em termos de infraestrutura e demanda, e cenários alternativos de infraestrutura para uma demanda futura, sendo empregadas soluções com rótula, semáforo e interseção em desnível. Foi realizada coleta de dados em campo para estimar a demanda atual, que foi também projetada para o ano de 2023. O modelo do cenário atual foi validado para os dados de campo. Os cenários alternativos para a demanda futura foram comparados através da observação das características de tráfego nos modelos. O método empregado neste trabalho permitiu analisar quantitativamente o comportamento do tráfego em situações futuras hipotéticas, oferecendo uma base para tomada de decisões quanto às possíveis intervenções na infraestrutura.

Palavras-chave: Microsimulação de tráfego, interseções, Aimsun.

ABSTRACT

The goal of this study is to apply traffic microsimulation in the analysis of a intersection in the city of Florianópolis. The current scenario was modeled, in terms of infrastructure and demand, and alternative scenarios for a future demand, being employed solutions with a roundabout, traffic lights and an elevated road. Data collection was performed in the field to estimate the current demand, which was projected for the year of 2023. The model of the current scenario was validated for the field data. The alternative scenarios for the future demand were compared through observation of the traffic features in the model. The method employed in the study allowed to analyse the traffic behaviour quantitatively in future hypotheticcal situations, offering a base for decision making about possible interventions in the infrastructure.

Key-words: traffic microsimulation, intersections, Aimsun.

Lista de Figuras

1	Exemplos de intersecções: a) de 4 ramos; b) de 3 ramos; c) de 5 ramos	6
2	Exemplos de intersecções: a) Sem controle especial; b) Gota c) Canalizada	7
3	Exemplo de uma rótula	9
4	Exemplos de intersecções em desnível	10
5	Representação da Intersecção de estudo	17
6	Localização da área de estudo na cidade de Florianópolis	18
7	Intersecção de estudo	19
8	Esquema da localização dos pontos de contagem na in- tersecção	20
9	Configuração do cenário atual	23
10	Modificações propostas para implantação dos semáforos	25
11	Configuração proposta para a rótula	26
12	Modificações propostas para implantação de um elevado	28
13	Croqui da infraestrutura elevado a ser construído	29
14	Esquema das modificações do tráfego no período da manhã	36
15	Exemplo de um arquivo de dados reais	38
16	Simulação do cenário atual no período da noite (18h30- 19h30)	42
17	Diagrama de estágios	43
18	Validação dos dados de contagem	46
19	Validação dos dados de contagem	47

20	Velocidade simulada para o cenário atual com demanda atual no período da manhã	48
21	Fluxo simulado para o cenário atual com demanda atual no período da manhã	49
22	Densidade simulada para o cenário atual com demanda atual no período da manhã	49
23	Tempo de atraso simulado para o cenário atual com demanda atual no período da manhã	50
24	Velocidade simulada para o cenário atual com demanda futura no período da manhã	50
25	Fluxo simulado para o cenário atual com demanda futura no período da manhã	51
26	Densidade simulada para o cenário atual com demanda futura no período da manhã	51
27	Tempo de atraso simulado para o cenário atual com demanda futura no período da manhã	52
28	Velocidade simulada para o cenário atual com demanda atual no período da noite	53
29	Fluxo simulado para o cenário atual com demanda atual no período da noite	53
30	Densidade simulada para o cenário atual com demanda atual no período da noite	54
31	Tempo de atraso simulado para o cenário atual com demanda atual no período da noite	54
32	Velocidade simulada para o cenário atual com demanda futura no período da noite	55
33	Fluxo simulado para o cenário atual com demanda futura no período da noite	55

34	Densidade simulada para o cenário atual com demanda futura no período da noite	56
35	Tempo de atraso simulado para o cenário atual com demanda futura no período da noite	56
36	Velocidade simulada para o cenário rótula no período da manhã	57
37	Fluxo simulado para o cenário rótula no período da manhã	57
38	Densidade simulada para o cenário rótula no período da manhã	58
39	Tempo de atraso simulado para o cenário rótula no período da manhã	58
40	Velocidade simulada para o cenário rótula no período da noite	59
41	Fluxo simulado para o cenário rótula no período da noite	59
42	Densidade simulada para o cenário rótula no período da noite	60
43	Tempo de atraso simulado para o cenário rótula no período da noite	60
44	Velocidade simulada para o cenário elevado no período da manhã	61
45	Fluxo simulado para o cenário elevado no período da manhã	61
46	Densidade simulada para o cenário elevado no período da manhã	62
47	Tempo de atraso simulado para o cenário elevado no período da manhã	62
48	Velocidade simulada para o cenário elevado no período da noite	63

49	Fluxo simulado para o cenário elevado no período da noite	63
50	Densidade simulada para o cenário elevado no período da noite	64
51	Tempo de atraso simulado para o cenário elevado no período da noite	64
52	Comparação da velocidade para o cenário atual com demandas atual e futura	66
53	Comparação do fluxo para o cenário atual com demandas atual e futura	66
54	Comparação da densidade para o cenário atual com demandas atual e futura	67
55	Comparação do tempo de atraso para o cenário atual com demandas atual e futura	67
56	Comparação do tempo de viagem para o cenário atual com demandas atual e futura	68
57	Comparação da distância de viagem para o cenário atual com demandas atual e futura	68
58	Comparação da velocidade entre os cenários alternativos	70
59	Comparação do fluxo para o cenário atual com demandas atual e futura	70
60	Comparação da densidade para o cenário atual com demandas atual e futura	71
61	Comparação do tempo de atraso para o cenário atual com demandas atual e futura	71
62	Comparação do tempo de viagem para o cenário atual com demandas atual e futura	72
63	Comparação da distância de viagem para o cenário atual com demandas atual e futura	72

Lista de Tabelas

1	Datas das contagens pontuais	30
2	Data da contagem das conversões	31
3	Volume de veículos no Ponto 1 (Referência)	32
4	Volume classificado de veículos nas conversões realizadas no ponto 1	32
5	Fatores de expansão para o intervalo: 18h30-18h45 . . .	33
6	Fatores de expansão para o intervalo: 18h45-19h	33
7	Fatores de expansão para o intervalo: 19h-19h15	33
8	Fatores de expansão para o intervalo: 19h15-19h30 . . .	33
9	Volume classificado de veículos no Ponto 2	34
10	Volume classificado de veículos no Ponto 3	34
11	Volume classificado de veículos nas conversões realizadas no ponto 3	34
12	Volume classificado de veículos no Ponto 4	35
13	Volume classificado de veículos no Ponto 5	35
14	Volume classificado de veículos nas conversões realizadas no ponto 5	35
15	Volume classificado de veículos no Ponto 6	35
16	Demanda prevista para o ano de 2023 no Ponto 1	40
17	Demanda prevista para o ano de 2023 no Ponto 3	40
18	Demanda prevista para o ano de 2023 no Ponto 5	40
19	Demanda e fluxo de saturação para as aproximações 1, 2 e 3	44

20	Taxa de ocupação (y)	45
----	------------------------------------	----

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Objetivos	2
1.1.1	Objetivo geral	2
1.1.2	Objetivos específicos	2
2	Revisão bibliográfica	3
2.1	Estudos de tráfego	3
2.1.1	Expansão volumétrica	4
2.1.2	Ferramentas para análise de tráfego	5
2.2	Projetos de interseções	6
2.2.1	Semáforos	7
2.2.2	Rótulas	8
2.2.3	Interseções em desnível	10
2.3	Simulação de tráfego	11
2.3.1	Modelos macroscópicos	11
2.3.2	Modelos microscópicos	11
2.3.3	Aplicações da microsimulação	13
2.3.4	Modelos mesoscópicos	14
2.4	Aimsun	14
3	Área de estudos	17
3.1	Definição dos cenários	20

3.2	Cenários alternativos de infraestrutura	20
4	Método	22
4.1	Modelagem da infraestrutura no microsimulador Aimsun	22
4.1.1	Segmentos, nós e movimentos	23
4.1.2	Centroides	24
4.1.3	Semáforos	24
4.1.4	Rótulas	25
4.1.5	Interseções em desnível	26
4.2	Coleta de dados volumétricos	29
4.3	Tabulação dos dados e aplicação de expansão volumétrica	31
4.3.1	Cenário 1	31
4.3.2	Cenário 2	36
4.4	Modelagem da demanda no microsimulador Aimsun . .	37
4.4.1	Previsão de demanda futura	39
4.4.2	Validação do modelo do cenário atual	41
4.4.3	Cálculo do fluxo de saturação e tempo de ciclo ótimo para semáforos	42
5	Resultados	46
5.1	Validação do cenário atual	46
5.2	Características analisadas	48
5.2.1	Cenário atual - período manhã	48
5.2.2	Cenário atual - período noite	52
5.2.3	Cenário rótula - período manhã	57

5.2.4	Cenário rótula - período noite	59
5.2.5	Cenário elevado - período manhã	61
5.2.6	Cenário elevado - período noite	63
5.3	Comparação dos cenários	65
5.3.1	Comparação entre as demandas atual e futura para o cenário atual	66
5.3.2	Comparação entre os cenários atual, rótula e ele- vado	69
6	Conclusões	74
	Referências	76
A	Planilha utilizada para contagem dos veículos	78
B	Planilha utilizada para contagem das conversões dos veí- culos	79
C	Relação entre ano e número de veículos	80

1 Introdução

Para o funcionamento adequado de uma cidade são necessárias manutenções constantes em suas infraestruturas, a fim de conservá-las e acompanhar o crescimento urbano. Este trabalho tem foco na infraestrutura viária, com o objetivo de analisar o tráfego em uma interseção na cidade de Florianópolis e propor mudanças utilizando a microssimulação de tráfego.

Para propor mudanças eficientes no sistema de tráfego devem ser realizados estudos visando analisar a capacidade da estrutura em relação à demanda atual e futura. No estudo de uma interseção, a microssimulação de tráfego é adequada pois utiliza um nível alto de detalhes e considera cada veículo e seu comportamento individualmente.

Neste trabalho foi realizada uma revisão bibliográfica para obter conhecimentos relacionados aos métodos de estudo de tráfego, tipos e projetos de interseções, simulação de tráfego e suas aplicações, com ênfase em microssimulação. Foi estudado também o software utilizado, Aimsun 7.0.

A escolha da interseção de estudo foi baseada em observações visuais que permitiram identificar características relevantes para o desenvolvimento deste trabalho, como congestionamentos, alto fluxo de veículos e deficiências na sinalização.

A interseção analisada neste trabalho é situada na cidade de Florianópolis no bairro Rio Tavares, interceptando a Rodovia Dr. Antônio Luiz Moura Gonzaga e a SC 405.

O microssimulador escolhido para desenvolver este trabalho foi o Aimsun 7.0 (comercializado pela empresa TSS), pela disponibilidade do mesmo e por possuir os atributos necessários para modelar e analisar a interseção escolhida.

Foram realizadas contagens dos veículos a fim de determinar a demanda atual e levantamentos das características da infraestrutura e elementos do tráfego. Na modelagem da interseção no simulador foi utilizada uma imagem de satélite georreferenciada do local para auxiliar no desenho das vias. Para determinar a demanda foram utilizados os

dados volumétricos coletados.

Após a modelagem do cenário atual, foram propostas melhorias na infraestrutura do local com a finalidade de diminuir congestionamentos. As propostas de modificação da infraestrutura consistem na implantação de uma rótula, implantação de semáforos e construção de um elevador.

Com a projeção da demanda dos veículos para o ano de 2023, foi possível comparar como os veículos se comportam no cenário atual e nos propostos.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Analisar as características de tráfego em uma intersecção na cidade de Florianópolis utilizando a técnica de microsimulação. Comparar cenários alternativos de infraestrutura para uma demanda futura.

1.1.2 Objetivos específicos

- Aprendizado no uso de softwares para aquisição e tratamento de dados geográficos e de microsimulação de tráfego
- Aprendizado na execução de contagens de tráfego manuais e organização dos dados
- Elaboração do modelo do cenário atual
- Elaboração de projeção de tráfego futuro e de modelos de infraestrutura modificados
- Análise das características de tráfego nos diferentes cenários

2 Revisão bibliográfica

Nesta seção são abordados os aspectos teóricos referentes aos estudos de tráfego, interseções, simulação de tráfego e ao software utilizado neste trabalho.

2.1 Estudos de tráfego

O objetivo dos estudos de tráfego é adquirir dados relativos aos elementos fundamentais do tráfego (motorista, pedestre, veículo, via e meio ambiente), através de dados sistemáticos de coleta (DNIT/IPR, 2006).

Para realizar uma avaliação da fluidez dos movimentos dos veículos, devem ser analisadas três características fundamentais dos aspectos dinâmicos do tráfego, sendo elas o volume, a velocidade e a densidade (DNIT/IPR, 2006).

De acordo com DNIT/IPR (2006) o volume ou fluxo de tráfego é definido como o número de veículos que passam por uma seção de uma via ou faixa durante uma unidade de tempo, geralmente uma hora ou um dia. É comum utilizar a média dos volumes de veículos que circulam no período de 24 horas em um trecho, denominado "Volume Médio Diário" (VMD). O VMD pode ser anual (VMDa), mensal (VMDm), semanal (VMDs) e "em um dia da semana" (VMDd), sendo o anual o mais importante, definido pelo número total de veículos que trafegam em um ano dividido por 365.

A definição de velocidade varia com o tipo de tempo utilizado, sendo basicamente a posição no espaço em relação ao tempo. A densidade é o número de veículos por unidade de comprimento da via.

Para obter os dados utilizados em um estudo de tráfego são feitas pesquisas em campo. Nas pesquisas são realizadas contagens volumétricas dos veículos e podem ser globais (quando o número de veículos em um trecho da via é registrado sem considerar o sentido em que estão), direcionais (o número de veículos é registrado por sentido do fluxo) e classificatórias (quando o volume é registrado distinguindo os tipos e

classes de veículos). As contagens são feitas manual ou automaticamente. Também são realizadas pesquisas de origem e destino (através de entrevistas ou identificação de placa) para identificar as origens e destinos das viagens, velocidade e ocupação dos veículos.

2.1.1 Expansão volumétrica

A expansão de tráfego é feita para relacionar dados entre diferentes pontos de contagem e suprir desta forma os períodos que não foram abrangidos pelas contagens.

Os fatores de expansão descritos são recomendações do DNIT/IPR (2006).

No caso de pesquisas de origem/destino, que são geralmente realizadas por amostragem, deve-se expandi-las para as 24 horas do dia da amostra de acordo com a expressão 1:

$$f_{P_d} = \frac{VP_{24}}{VP_h} \quad (1)$$

onde:

f_{P_d} = fator de expansão diário;

VP_{24} = volume de carros de passeio durante as 24 horas do dia;

VP_h = volume de carros de passeio durante as h horas da pesquisa.

Para um dia específico da semana e para um determinado tipo de veículo, o fator de expansão semanal é obtido pela expressão 2:

$$f_{P_s} = \frac{VP_s}{VP_d} \quad (2)$$

onde:

f_{P_s} = fator de expansão semanal de um dia específico da semana;

VP_s = volume de carros de passeio durante os 7 dias da semana;

VP_d = volume de carros de passeio durante o dia determinado.

Na expansão anual as variações no tráfego de acordo com a época

do ano devem ser consideradas. Para a expansão é utilizado o fator de ajustamento sazonal para cada tipo de veículo, aplicando a expressão 3 :

$$f_a = \frac{VMD_a}{VMD_m} \quad (3)$$

onde:

f_a = fator de expansão sazonal;

VMD_a = volume médio diário anual;

VMD_m = volume médio diário mensal.

2.1.2 Ferramentas para análise de tráfego

Ferramentas podem ser usadas para auxiliar análises de tráfego e podem ser agrupadas em categorias como simulação, modelos de demanda de viagens e métodos analíticos/determinísticos (ALEXIADIS, 2004).

ALEXIADIS (2004) apresenta aplicações para as ferramentas de análise de tráfego, sendo elas:

- Aprimorar o processo de tomada de decisões
- Avaliar e priorizar alternativas operacionais e de planejamento
- Aprimorar designs e avaliar tempo e custos
- Reduzir interrupções ao tráfego
- Apresentar/vender estratégias para o público e partes interessadas
- Operar e gerenciar a capacidade de vias existentes
- Monitorar performance

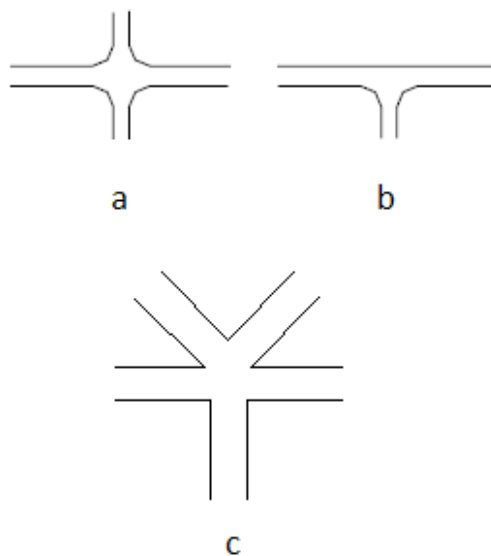
Este trabalho utiliza como ferramenta a simulação de tráfego, que será descrita na seção 2.3.

2.2 Projetos de interseções

Interseções são áreas em que duas ou mais vias se unem ou se cruzam, incluindo o espaço que facilita os movimentos dos veículos que circulam por ela (DNIT/IPR, 2005). Elas são divididas em dois grupos de acordo com o plano em que são realizados os movimentos, sendo estes “Interseções em nível” e “Interseções em nível diferente”.

O DNIT/IPR (2005) define as interseções em nível em função do número de ramos, das soluções adotadas e do controle de sinalização. A Figura 1 mostra exemplos de interseções com diferentes números de ramos.

Figura 1: Exemplos de interseções: a) de 4 ramos; b) de 3 ramos; c) de 5 ramos



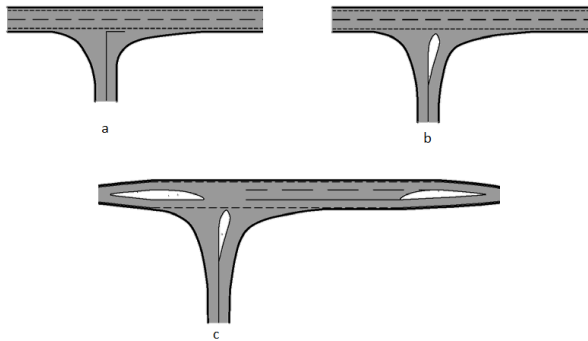
Fonte:(DNIT/IPR, 2005) adaptada pela autora

Em relação ao controle de sinalização, as interseções podem ser controladas com sinalização semafórica ou ter apenas sinalização hori-

zontal e vertical.

Em relação às soluções adotadas, estas podem ser mínimas (sem nenhum controle especial), gota e canalizada (sua geometria define os movimentos dos veículos) e rótulas. A Figura 2 exemplifica a configuração destas soluções.

Figura 2: Exemplos de intersecções: a) Sem controle especial; b) Gota
c) Canalizada



Fonte: (DNIT/IPR, 2005) adaptada pela autora

2.2.1 Semáforos

A sinalização semafórica é feita por dispositivos chamados "semáforos". De acordo com DENATRAN (1984) um semáforo é um dispositivo que controla o tráfego através de indicações luminosas, alternando o direito de passagem das correntes de tráfego dos veículos e pedestres em interseções. O semáforo veicular controla o fluxo através de três focos de luz, sendo um da cor verde (indicando que os condutores podem seguir em frente ou realizar suas conversões), um da cor amarela (precede a cor vermelha, indicando o término do direito de passagem mas permitindo que os veículos terminem a travessia da interseção com segurança) e outro da cor vermelha (que indica que os condutores devem permanecer parados). Existe também o semáforo para pedestres que é composto por dois focos, um da cor verde indicando que a travessia pode ser feita em segurança e um vermelho, que

quando está intermitente é similar ao amarelo veicular e quando fixo indica que os pedestres devem permanecer no local até que o foco verde seja acionado novamente.

A sequência de indicação de cores em um semáforo aplicada a uma ou mais correntes de tráfego é denominada "fase". O tempo em segundos para ocorrer a sequência completa de sinalização em uma interseção é denominado ciclo. O período de tempo em um ciclo que determina um conjunto de movimentos é chamado de estágio (DENATRAN, 1984).

Para a regulação dos semáforos devem ser consideradas características que promovam a fluidez e segurança do tráfego, isto consiste em determinar o tempo de ciclo ótimo, tempos de verde em cada fase e defasagens entre semáforos adjacentes (DENATRAN, 1984).

O DENATRAN (1984) adota o Método de Webster como técnica padrão para o cálculo das características de um plano de tráfego em semáforos de tempo fixo, que será descrito na seção 4.4.3. Esta técnica leva em consideração a capacidade da aproximação para calcular o tempo de ciclo ótimo.

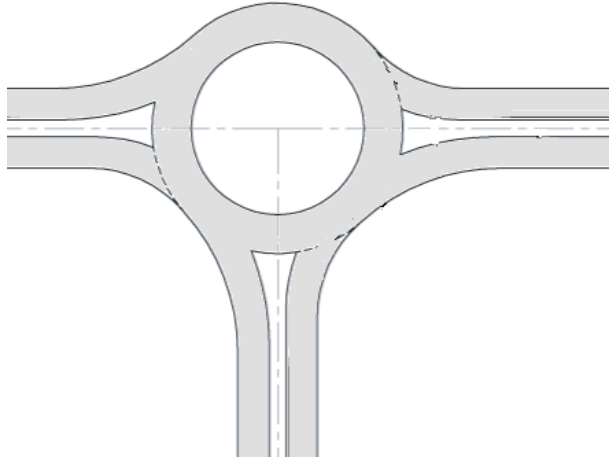
2.2.2 Rótulas

As rótulas são interseções circulares de mão única onde o tráfego ocorre no sentido anti-horário em torno de uma ilha central (RODEGERDTS et al., 2010). O acesso é controlado por sinalização vertical ou horizontal, indicando preferência aos veículos que se aproximam. A Figura 3 exemplifica a configuração de uma rótula com três ramos.

No Brasil as rótulas são identificadas como convencionais quando os ramos de acesso têm preferência em relação ao que vem pela pista rotatória, ou como modernas, onde a prioridade é do tráfego que circula na rotatória. As rótulas modernas são classificadas pelo seu tamanho, variando entre “mini-rótulas” com ilha central de até 15m de diâmetro, “rótulas-compactas” com diâmetros de 30 a 35m a “grandes-rótulas” com diâmetros de até 150m (DNIT/IPR, 2005).

Para garantir a segurança e eficiência de uma rótula, o projeto adequado de sua infraestrutura e a sinalização em relação às re-

Figura 3: Exemplo de uma rótula



Fonte: (RODEGERDTS et al., 2010) adaptada pela autora

gras de prioridades e velocidades máximas são muito importantes. O DNIT/IPR (2005) traz algumas recomendações sobre elementos básicos de projeto e princípios operacionais sobre rótulas modernas, descritas na sequência.

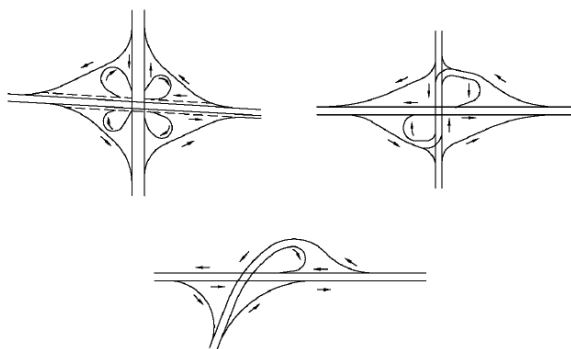
- Em relação aos elementos de projeto, o diâmetro externo mínimo deve ter entre 30 a 40 metros. O diâmetro interno deve ser suficiente para acomodar veículos maiores mas evitando espaços amplos que encorajem velocidades elevadas.
- A ilha central deve ter forma simples, como um círculo ou elipse e seu objetivo é causar deflexão do tráfego para impedir o cruzamento direto da interseção. Para garantir o movimento de giro dos veículos grandes é possível utilizar meios-fios transponíveis na ilha central, devendo ser considerados também os raios e ângulos nas entradas e saídas da rótula.
- A largura das pistas da rotatória deve considerar o número de ramos de acesso e os raios de giro dos veículos circulando por ela, devendo estar coerente com a largura das faixas dos acessos, que

geralmente variam de 3,5 a 4,0 metros. Caso a rótula seja implantada em uma interseção já existente e não haja espaço suficiente para o alargamento ideal é possível compensar esta restrição localizando a linha de "dê a preferência" paralela à ilha central, desta maneira a visão do motorista mais à direita não é obstruída pelo veículo à sua esquerda, que fica parado mais atrás.

2.2.3 Interseções em desnível

Nas interseções em níveis diferentes os movimentos principais são realizados em greides diferentes com o objetivo de eliminar o cruzamento do tráfego direto e minimizar conflitos, promovendo maior segurança e diminuição de congestionamentos nas aproximações da interseção. Elas são divididas em "sem ramos" quando não há trocas de fluxos de tráfego entre as rodovias que se interceptam e "interconexão" quando a interseção possui ramos por onde os veículos passam de uma via à outra (DNIT/IPR, 2005). A figura 4 exemplifica configurações de interseções em desnível.

Figura 4: Exemplos de interseções em desnível



Fonte:(DNIT/IPR, 2005) adaptada pela autora

2.3 Simulação de tráfego

Uma simulação pode ser considerada um experimento por amostragem em um sistema dinâmico real representado por um modelo computacional e assume que a evolução ao longo do tempo do sistema no modelo imita a evolução do sistema real (BARCELÓ, 2010).

A simulação de tráfego tem como objetivo reproduzir situações de interação entre os veículos, condutores, infraestrutura e condições de circulação em uma rede viária. Os modelos de simulação são usualmente classificados em relação ao seu nível de detalhes, sendo assim, temos os macroscópicos, os microscópicos e os mesoscópicos (VILARINHO, 2008). A partir da reprodução de um sistema de tráfego é possível fazer uma análise do funcionamento atual e futuro deste, propor melhorias e testar propostas antes de colocá-las em prática.

2.3.1 Modelos macroscópicos

Os modelos macroscópicos consideram o tráfego como um todo, não distinguindo as partes que o compõe (VILARINHO, 2008). Os estados de tráfego são determinados pela análise integrada das correntes de tráfego e as relações entre as variáveis fluxo, densidade e velocidade (VASCONCELOS, 2004). O modelo macroscópico tem um nível baixo de detalhes, pois não considera as entidades de tráfego individualmente e o descreve com alto nível de agregação, não considerando por exemplo, ações como mudança de faixa.

2.3.2 Modelos microscópicos

Os modelos microscópicos de simulação têm como característica considerar individualmente os veículos e suas interações com a infraestrutura das vias e entre outros veículos (BURGHOUT, 2005), procurando reproduzir sua dinâmica na rede. Com esta abordagem é possível analisar cenários com um nível elevado de detalhes, distinguir os tipos de veículos e inserir características relevantes das vias para uma reprodução mais precisa do sistema viário a ser estudado.

A construção de um modelo microscópico deve conter todas as características físicas relevantes do sistema viário a ser estudado e os dados da demanda local.

Para a construção da rede física no modelo devem ser levantadas todas as características relevantes para a representação precisa da malha a ser estudada, como limites de velocidade, plano de transporte público, sinalização e outras características que afetem o fluxo de tráfego, como faixas de pedestres e pontos de ônibus (MORRIS; SYKES, 2005).

Os modelos de microssimulação utilizam algoritmos para simular os movimentos dos veículos na rede, sendo os três principais algoritmos dos sub-modelos: *car following*, *lane changing* e *gap acceptance* (JONES; SULLIVAN; ANDERSON, 2004).

O modelo “de perseguição” *car-following* gera a resposta de um condutor em relação ao veículo que está a sua frente (VASCONCELOS, 2004).

O modelo *lane changing* é relativo aos movimentos de mudança de faixa, a partir da motivação e possibilidade para os movimentos serem realizados. O modelo é desenvolvido de acordo com a necessidade da mudança de faixa para mudar de direção (manobra obrigatória) ou para o aumento da velocidade (manobra opcional) (VASCONCELOS, 2004).

O modelo *gap-acceptance* (“aceitação de brecha”) determina as condições mínimas necessárias para um veículo inserir-se em uma corrente de tráfego (SILVA et al., 2013), proporcionando segurança nos movimentos dos veículos em relação ao intervalo de tempo e espaço disponível.

ELEFTERIADOU (2014) propõe um procedimento de 5 etapas para selecionar e aplicar o modelo de simulação adequadamente. A primeira etapa é definir o escopo do projeto, identificando o problema e o objetivo do estudo. A segunda etapa é a “seleção do pacote”, na qual são analisadas as características que o simulador deve ter para que as necessidades do problema identificado sejam supridas. A terceira etapa consiste na identificação da necessidade de dados, a reunião destes dados e inserção no simulador. A quarta etapa ocorre após a realização

da simulação, quando devem ser verificados possíveis erros nos dados de entrada e saída de maneira qualitativa. Após a verificação deve ser feita a calibração do modelo, que consiste nos ajustes necessários para que o modelo represente a realidade adequadamente. A quinta etapa é a análise das alternativas propostas e as devidas conclusões.

2.3.3 Aplicações da microsimulação

Utilizando a microsimulação de tráfego é possível criar um modelo virtual que represente o movimento individual dos veículos em um sistema de tráfego e construir cenários para avaliar o comportamento do tráfego quando são realizadas alterações na infraestrutura rodoviária (MACEDO; BENTA, 2013). Nesta subseção são apresentados alguns exemplos de aplicação da microsimulação de tráfego.

HAAS (2001) mostra uma visão global do processo de construção de um modelo no microsimulador Aimsun, para uma área urbana na cidade de Taharoto, Nova Zelândia. O trabalho tem como objetivo investigar o funcionamento das vias e opções de transporte público para a demanda atual e futura. As malhas viárias atual e propostas são desenhadas com o auxílio de imagens por satélite e a demanda coletada é inserida. Com a simulação é possível comparar dados de fluxo, velocidade, densidade e tempo de atraso veicular.

MACEDO; BENTA (2013) faz um estudo com microsimulação para avaliar o desempenho de modelos de interseções alternativas à uma interseção semaforizada de quatro ramos na cidade de Aveiro, Portugal. As alternativas foram otimizar o sistema semafórico existente, criar uma rótula transponível (para compensar a falta de espaço para o raio externo adequado), priorizar duas vias e criar uma rótula com uma via exclusiva para conversões à direita. Com os dados de demanda inseridos, para às diferentes configurações geométricas foi possível fazer uma comparação entre os tempos de atraso médio por veículo. Foi concluído que a rótula com via exclusiva para conversão teve o melhor desempenho.

NETO (2013) apresenta uma proposta para readequar uma rotatória na cidade Fortaleza, CE, utilizando a microsimulação. O impacto na fluidez do tráfego é analisado para a proposta de implantação de uma

interseção em desnível no local (mantendo a configuração de rótula no nível inferior). As características comparadas entre o cenário atual e o proposto foram em relação ao tempo de viagem e o volume de veículos.

BARCELÓ et al. (2001) apresenta um estudo sobre a utilização da microssimulação na avaliação de potenciais impactos causados por estratégias de gestão de acidentes. No estudo são analisadas as reações dos veículos a diferentes mensagens exibidas em painéis de mensagens variáveis sobre congestionamentos, incidentes e recomendações de rotas.

BONATTI (2011) analisa os impactos que inundações causam ao trânsito com e sem medidas de mitigação destes impactos na cidade de Belo Horizonte, MG. No microssimulador utilizado é desenvolvido um modelo em condições normais (sem inundações) e outro com bloqueios que simulam o desvio do trânsito nos locais atingidos. Como resultados são apresentadas as emissões de CO_2 , consumo de combustível e velocidade média.

2.3.4 Modelos mesoscópicos

Os modelos mesoscópicos possuem características intermediárias entre os modelos macro e microscópicos. Eles descrevem as entidades de tráfego com alto nível de detalhes, mas as suas interações e comportamentos são menos detalhadas (BURGHOUT, 2005), ou seja, é possível descrever os veículos individualmente sem a necessidade de detalhar seu comportamento ao longo do tempo e do espaço (VILARINHO, 2008). A representação dos veículos é feita por grupos de veículos agregados.

2.4 Aimsun

O simulador utilizado neste trabalho é o Aimsun 7.0, comercializado pela empresa TSS (Transport Simulation Systems). O Aimsun possui três componentes que permitem simulações dinâmicas, sendo um simulador microscópico, mesoscópico e híbrido. O simulador microscópico (foco deste trabalho) segue a abordagem de que o comportamento de cada veículo na rede é modelado continuamente enquanto ele viaja pela rede de tráfego no período da simulação (TSS, 2012b). Esta abor-

dagem é feita através de modelos de comportamento, como os descritos abaixo.

O modelo *car-following* utilizado pelo Aimsun é baseado no modelo de Gipps e consiste basicamente em dois componentes: aceleração e desaceleração. A aceleração representa a intenção de um veículo em atingir uma velocidade desejada, enquanto a desaceleração ocorre devido a limitações impostas pelo veículo posterior ao tentar dirigir na velocidade desejada. As características deste modelo são determinados pelo tipo de condutor, geometria da seção e influência dos veículos nas pistas adjacentes (TSS, 2012a). O modelo *gap-acceptance* tem consistência com o modelo *car-following* para que não ocorram colisões.

O modelo *lane-changing* utilizado também é baseado no modelo de Gipps e é um processo de decisão que analisa a necessidade da mudança de faixa, a vontade de realizar a mudança (considera a velocidade do veículo líder que está a sua frente) e a viabilidade da manobra (TSS, 2012a).

A demanda de tráfego pode ser introduzida utilizando matrizes de origem/destino (O/D) ou estados de tráfego.

As matrizes O/D contém o número de viagens realizadas entre os centroides de origem e os centroides de destino em um intervalo de tempo (pontos de origem e destino na malha, gerando ou atraindo viagens), representando o “caminho” realizado pelos veículos. É utilizada uma matriz para cada classe de veículo.

Os estados de tráfego contém dados do fluxo de entrada de veículos na rede e, se disponíveis, dados dos movimentos dos veículos nos nós. Para cada estado de tráfego é definido o tipo de veículo e o intervalo de tempo que ele representa.

Na modelagem da rede podem ser representados vários detalhes, entre eles são desenhadas as seções das vias, com o número de faixas adequado, os nós que ligam as seções, sinalização horizontal e vertical, pontos e linhas de ônibus, detectores, planos semafóricos e faixas de pedestres.

Para determinar como a demanda de tráfego é carregada na rede, geralmente em termos de matrizes origem/destino, é realizado um pro-

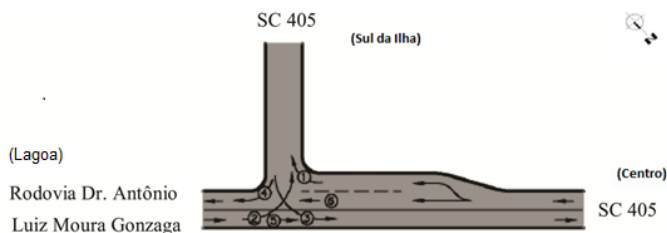
cesso denominado "alocação de tráfego". Este processo é baseado na hipótese de que os veículos realizam as viagens de sua origem ao seu destino na rede de acordo com as rotas disponíveis para conecta-los (BARCELÓ, 2010). No Aimsun este processo é realizado de forma dinâmica, que é uma extensão do problema da alocação de tráfego. A diferença da alocação dinâmica de tráfego é que esta descreve a maneira que o padrão do fluxo de tráfego evolui em relação ao tempo e o espaço na rede (BARCELÓ (2010) apud Mahmassani (2001)).

3 Área de estudos

Através de observações foi escolhida uma interseção para estudo que apresenta um fluxo alto de veículos, sofre constantes congestionamentos (no cruzamento em si e em seus contornos) e é suscetível a acidentes, pois os movimentos preferenciais não são sinalizados adequadamente. Outro motivo da escolha foi a facilidade de acesso ao local para realizar a coleta de dados.

A área escolhida para a realização do estudo é a interseção entre a Rodovia Dr. Antônio Luiz Moura Gonzaga e a SC 405, localizada no bairro Rio Tavares, Florianópolis, popularmente conhecida como “Trevo do Posto Galo” e “Trevo do Rio Tavares”. Apesar de ser chamada por “trevo”, esta interseção é classificada como ‘em nível de três ramos ou “T”’ (DNIT/IPR, 2005), representada na figura 5.

Figura 5: Representação da Interseção de estudo



Fonte: (DNIT/IPR, 2005) adaptada pela autora

O local de estudo faz a ligação do Sul da Ilha com as demais áreas da cidade, interceptando as viagens dos bairros Rio Tavares, Campeche, Morro das Pedras, Armação, Ribeirão da Ilha, Tapera, Pântano do Sul e eventuais passagens entre bairros próximos, como a Lagoa da Conceição e a Costeira do Pirajubaé. A Figura 6 situa a área de estudo na cidade de Florianópolis e a figura 7 apresenta a interseção.

Figura 6: Localização da área de estudo na cidade de Florianópolis



Fonte: Google Maps

Figura 7: Interseção de estudo

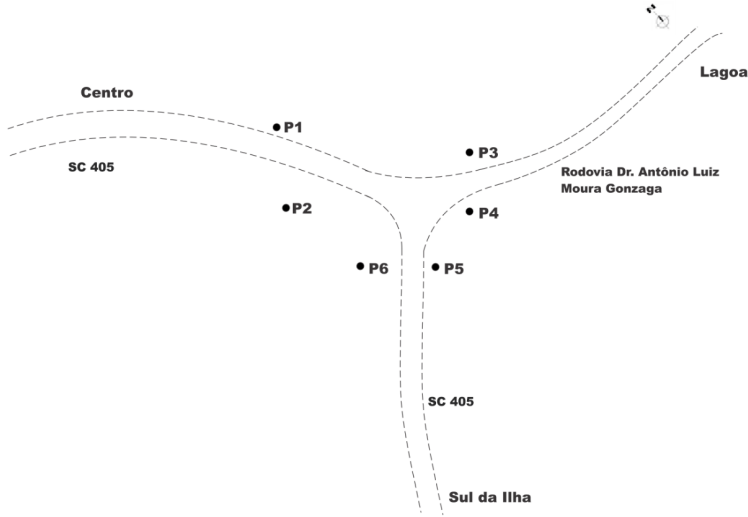


A fim de fazer uma análise do cenário atual foram alocados seis pontos, onde em cada um foi realizada a contagem dos veículos. A figura 8 mostra um esquema da localização destes pontos na interseção.

Este local tem como limitação a falta de postos de contagem permanente e disponibilidade de banco de dados sobre o fluxo de veículos. Por este motivo os horários de estudo foram definidos a partir de observações do local, identificando quais os horários mais críticos, sendo um no período da manhã e outro no período da noite.

A SC 405 (no trecho anterior à interseção se considerado sentido centro-bairro) é composta por 3 faixas, sendo que a do meio é reversível, atendendo o sentido de maior fluxo durante as variações de viagens que ocorrem ao longo do dia.

Figura 8: Esquema da localização dos pontos de contagem na interseção



3.1 Definição dos cenários

Devido a dificuldades em medir o fluxo de veículos 24 horas foram definidos para estudo dois períodos considerados “horários de pico” por observações do local.

Foi modelado um cenário no período da noite (18h30-19h30) e outro no período da manhã (7h-8h).

3.2 Cenários alternativos de infraestrutura

Neste trabalho foram feitas três propostas de modificação na infraestrutura da interseção, sendo estas: a implantação de semáforos, implantação de uma rótula e a construção de um elevado.

As duas primeiras propostas têm a intensão de promover melhorias com o menor impacto possível na infraestrutura, diminuindo custos (com projetos, desapropriações, mão-de-obra, etc) e transtornos a quem

passa pelo local. Já a terceira proposta impõe modificações maiores na infraestrutura devido à maior área de construção e a necessidade de medidas como desapropriações.

As características dos cenários alternativos são descritas nas seções 4.1.4, 4.1.3 e 4.1.5 deste trabalho.

4 Método

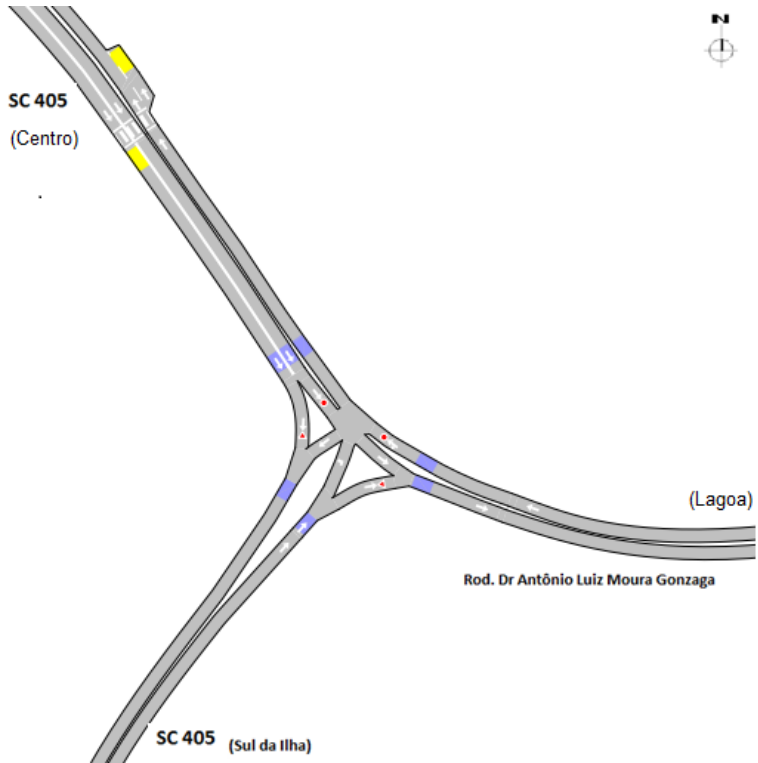
Nesta seção é apresentado o método utilizado para desenvolver este trabalho.

4.1 Modelagem da infraestrutura no microsimulador Aimsun

Observações do local foram feitas para o mapeamento de elementos da infraestrutura e características do tráfego, como sinalização e interação dos veículos na interseção. Para modelar a infraestrutura da interseção no simulador foi utilizada uma imagem de satélite georreferenciada do local, que permitiu de identificar as vias e os detalhes da interseção. Além dos dados coletados foram utilizados recursos de imagem do *Google Street View* <<https://www.google.com.br/maps>>.

Na modelagem dos cenários foram utilizados arquivos distintos para os períodos da manhã e noite, devido a diferenças na infraestrutura no trecho da SC 405 anterior à interseção (considerando sentido centro-bairro) causadas pela reversão da faixa central. A imagem 9 apresenta o cenário atual após ser modelado no simulador.

Figura 9: Configuração do cenário atual



4.1.1 Segmentos, nós e movimentos

Para definir a malha viária são utilizados segmentos e nós.

Segmentos são um grupo de faixas adjacentes em que os veículos se movem na mesma direção e representam o caminho entre uma interseção a outra.

Os segmentos são conectados por nós. Os nós representam um ponto ou área na malha em que os veículos mudam de direção ou se dispersam. Um nó pode ter um ou mais segmentos de origem e destino.

As conversões são representadas por movimentos permitidos no nós entre os segmentos de origem e destino.

4.1.2 Centroides

Os centroides são pontos de origem e destino de viagens na malha. Eles atraem ou geram viagens de acordo com a demanda de tráfego.

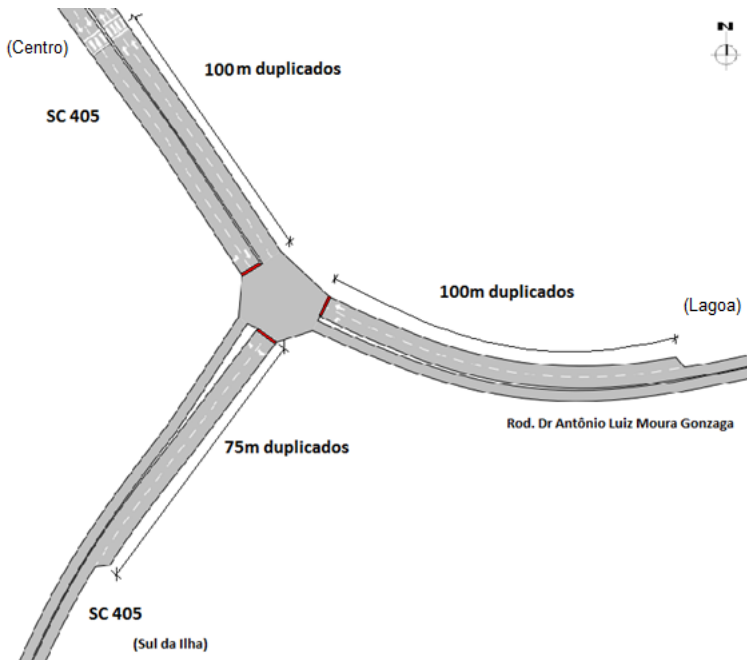
4.1.3 Semáforos

Com a ferramenta de criação de semáforos são alocados os sinais luminosos nos segmentos desejados. Nos grupos semaforicos são determinados os movimentos associados com cada sinal luminoso.

Após a definição dos movimentos são formados os planos semaforicos, que contém os ciclos e fases para cada grupo.

Para a implantação dos semáforos foram propostas também algumas modificações nas vias, sendo elas: duplicação de 75 metros de extensão na SC 405 sentido Sul da ilha-Centro, 100 metros de extensão na Rodovia Dr. Antônio Luiz Moura Gonzaga sentido Lagoa-Centro e 100 metros de extensão na SC 405 posterior à interseção (considerando o sentido bairro-Centro). As modificações estão indicadas na figura 10.

Figura 10: Modificações propostas para implantação dos semáforos



4.1.4 Rótulas

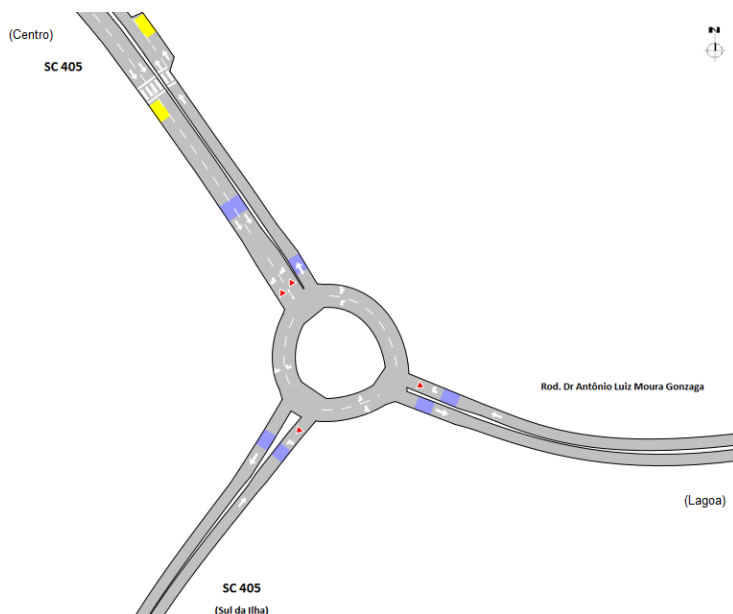
São modeladas utilizando a ferramenta de criação de rótulas, onde são selecionados os segmentos participantes e o raio externo é escolhido.

As rótulas são compostas por segmentos, que determinam seu formato e por nós, que impõe os movimentos dos veículos.

A rótula proposta segue as recomendações do DNIT/IPR (2005), tendo 35 metros de diâmetro externo e duas faixas, cada uma com 3,5m de largura. A ilha central não é representada no simulador, mas foi adotada a forma circular com 28m de diâmetro, sendo que dois metros da parte externa da ilha possuem meio fio transponível para acomodar veículos maiores que passam no local. A figura 11 apresenta

a configuração proposta para a rótula.

Figura 11: Configuração proposta para a rótula



4.1.5 Interseções em desnível

Para criar interseções em desnível os segmentos são desenhados normalmente e para diferenciar o nível entre elas é feita uma separação por camadas, assim os segmentos em nível superior ficam "por cima" dos segmentos inferiores.

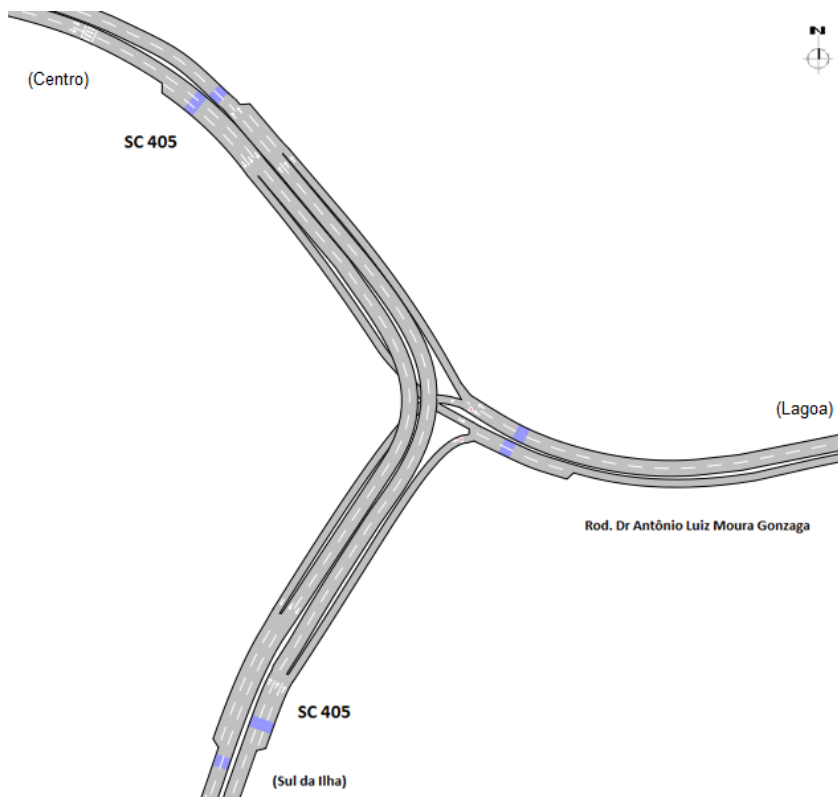
O desenho foi criado com base nos volumes dos movimentos observados no nó, que serão apresentados na seção 4.3, de forma que os movimentos com maiores volumes são atendidos pelas faixas elevadas. É necessária a duplicação da Rodovia Dr. Antônio Luiz Moura Gonzaga e da SC 405 nas aproximações da interseção.

A interseção em desnível proposta neste trabalho é um elevado e tem a seguinte hierarquia:

- O tráfego que vem no sentido Centro-Sul da Ilha (SC 405 para SC 405) e seu inverso (Sul da Ilha-Centro) passam em um nível superior, tendo preferência sobre os outros movimentos.
- O movimento Centro-Lagoa (SC 405 para a Rod. Dr. Antônio Luiz Moura Gonzaga) passa pelo nível inferior da estrutura e é preferencial.
- O movimento Lagoa-Centro utiliza o nível inferior e tem preferência no cruzamento, mas deve utilizar uma rampa de aceleração para entrar na SC 405.
- O movimento Sul da Ilha-Lagoa é similar ao cenário atual, utilizando o nível inferior e uma rampa de aceleração para entrar na Rod. Dr. Antônio Luiz Moura Gonzaga.
- O movimento Lagoa-Sul da Ilha ocorre em nível inferior e também é similar ao cenário atual, porém deve dar preferência apenas a quem está no sentido Centro-Lagoa.

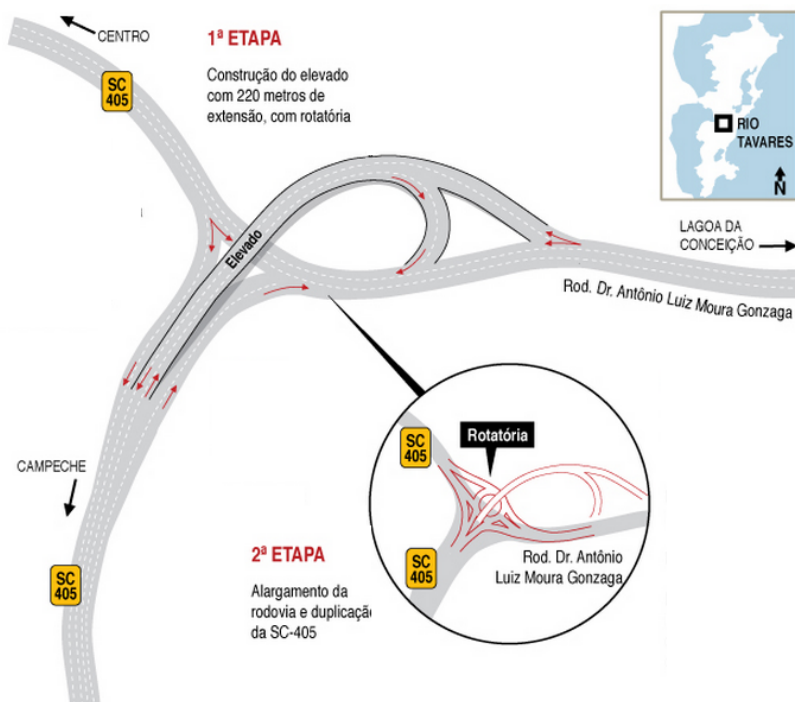
Apesar do simulador não considerar elementos de projeto geométrico como superelevação e raio de curva, foram seguidas recomendações do DNIT/IPR (2005) em relação à rampa máxima, onde foi adotado o valor de 5% para que fosse possível atingir o gabarito vertical de 5,50m. As passagens de pedestre deverão ser realizadas através de passarelas elevadas para que os veículos possam manter velocidade constante ao entrar e sair da via elevada. A figura 12 apresenta a configuração proposta para o elevado.

Figura 12: Modificações propostas para implantação de um elevado



Durante o desenvolvimento deste trabalho foi divulgado na mídia que será construído um elevado no local de estudo e que seu projeto estava concluído. A data de início da obra não foi divulgada. Ao procurar os responsáveis pelo projeto não foi possível ter acesso ao mesmo. Apesar de ser uma rodovia estadual, o projeto é da prefeitura e foi executado por uma empresa terceirizada. Com a notícia foi divulgado um croqui da infraestrutura, apresentado na figura 13, porém ele não contém informações suficientes como número de faixas por sentido, desta forma a estrutura não pode ser modelada no simulador.

Figura 13: Croqui da infraestrutura elevado a ser construído



Fonte: (CLICRBS, 2014) adaptada pela autora

4.2 Coleta de dados volumétricos

Devido a falta de dados, foi necessário ir a campo para realizar contagens volumétricas.

Em campo, também encontradas dificuldades na coleta de dados no período da manhã devido à intervenções policiais no local.

Após a definição dos horários de estudo, descritos na seção 3.1, foram realizadas contagens manuais para levantar o volume de veículos.

Para executar a modelagem da demanda do cenário atual no microsimulador é necessário levantar o volume classificado dos veículos, onde os volumes são registrados para diferentes classes de veículos. Contagens paralelas nos segmentos de interesse geram erros menores, porém, devido à falta de recursos, alguns pontos a contagem foi feita em intervalo de tempo diferente.

Os pontos de contagem foram determinados a fim de facilitar a contagem direcional, ou seja, cada ponto analisa uma determinada faixa e seu sentido, obtendo ao final o volume de veículos que entram e saem da interseção nos períodos estudados.

As coletas de dados iniciais foram realizadas nas datas e horários indicados na Tabela 1.

Tabela 1: Datas das contagens pontuais

Pontos	Data	Faixa de horário
P1	05/11/13	18h30-19h30
P2	06/11/13	18h45-19h
P3	12/11/13	18h30-18h45
P4	12/11/13	18h45-19h
P5	12/11/13	19h-19h15
P6	12/11/13	19h15-19h30

Em cada ponto, foi realizada uma contagem manual em que os veículos foram distinguidos em carros, motos, ônibus, caminhões pequenos e caminhões grandes.

Para realizar esta contagem, foi utilizada para anotação a planilha que encontra-se no Anexo A.

Posteriormente, para incrementar o modelo, foi realizada a contagem das conversões dos veículos nos pontos P1, P3 e P5 nas datas e horários indicados na Tabela 2. Para o registro das conversões foi utilizada a planilha presente no Anexo B.

O ponto 1 foi usado como referência para a determinação do volume de tráfego. Neste ponto o período de contagem dos veículos foi de 1 hora (dividida em intervalos de 15min) e com estes valores foram

Tabela 2: Data da contagem das conversões

Pontos	Data	Faixa de horário
P1	20/05/14	18h45-19h
P3	20/05/14	18h30-18h45
P5	20/05/14	18h30-18h45

determinados fatores de expansão. Nos demais pontos o período de contagem foi de 15 minutos e o volume total (para 1 hora) foi estimado a partir dos fatores de expansão obtidos com o ponto 1. Os fatores de expansão são calculados conforme a expressão 4:

$$f_E = \frac{V_X}{Vi_X} \quad (4)$$

onde:

f_E = fator de expansão horário;

V_X = volume de longo período em X ;

Vi_X = volume de curto período em X .

4.3 Tabulação dos dados e aplicação de expansão volumétrica

A seção 4.3.1 apresenta as tabelas com os volumes de veículos levantados em cada ponto e suas devidas expansões.

4.3.1 Cenário 1

O cenário 1 é referente ao período da noite das 18h30 às 19h30.

Ponto 1

Observação: Transito lento com períodos de congestionamento na faixa esquerda.

Tabela 3: Volume de veículos no Ponto 1 (Referência)

Período da contagem	Moto	Carro	Ônibus	Caminhão grande	Caminhão pequeno
18h30-18h45	115	358	2	4	2
18h45-19h	113	374	5	2	1
19h-19h15	104	300	10	1	3
19h15-19h30	96	343	7	3	1
total	428	1375	24	10	7

Tabela 4: Volume classificado de veículos nas conversões realizadas no ponto 1

Veículo	Conversão	Período de contagem 18h45-19h	Total expandido para 1h
Carro	direita	256	942
	em frente	138	508
Moto	direita	67	254
	em frente	32	122
Ônibus	direita	8	39
	em frente	2	10
Caminhão	direita	1	7
	em frente	1	7

Cálculo dos fatores de expansão

Os fatores de expansão foram calculados e aplicados às contagens de acordo com a expressão 5:

$$f_E = \frac{V_{P1}}{Vi_{P1}} \quad (5)$$

onde:

f_E = fator de expansão horário;

V_{P1} = volume durante o período de 1 hora no Ponto 1;

Vi_{P1} = volume durante o intervalo i no Ponto 1.

Tabela 5: Fatores de expansão para o intervalo: 18h30-18h45

Veículos	Fator de expansão
Carros	3,84
Ônibus	12,00
Motos	3,72
Caminhões Pequenos	3,00
Caminhões Grandes	2,50

Tabela 6: Fatores de expansão para o intervalo: 18h45-19h

Veículos	Fator de expansão
Carros	3,68
Ônibus	4,80
Motos	3,79
Caminhões Pequenos	7,00
Caminhões Grandes	5,00

Tabela 7: Fatores de expansão para o intervalo: 19h-19h15

Veículos	Fator de expansão
Carros	4,58
Ônibus	2,40
Motos	4,12
Caminhões Pequenos	2,00
Caminhões Grandes	10,00

Tabela 8: Fatores de expansão para o intervalo: 19h15-19h30

Veículos	Fator de expansão
Carros	4,01
Ônibus	8,00
Motos	4,46
Caminhões Pequenos	6,00
Caminhões Grandes	2,00

Ponto 2

Tabela 9: Volume classificado de veículos no Ponto 2

Período da contagem	Moto	Carro	Ônibus	Caminhão grande	Caminhão pequeno
18h45-19h	49	154	6	5	5
Total expandido para 1h	186	567	29	15	35

Observação: Trânsito fluindo normalmente.

Ponto 3

Tabela 10: Volume classificado de veículos no Ponto 3

Período da contagem	Moto	Carro	Ônibus	Caminhão grande	Caminhão pequeno
18h30-18h45	38	115	2	1	7
Total expandido para 1h	142	443	24	3	21

Tabela 11: Volume classificado de veículos nas conversões realizadas no ponto 3

Veículo	Conversão	Período de contagem 18h30-18h45	Total expandido para 1h
Carro	em frente	70	270
	esquerda	36	139
Moto	em frente	17	64
	esquerda	8	30
Ônibus	em frente	2	24
	esquerda	1	12
Caminhão	em frente	1	3
	esquerda	1	3

Ponto 4

Observação: Trânsito fluindo bem

Tabela 12: Volume classificado de veículos no Ponto 4

Período da contagem	Moto	Carro	Ônibus	Caminhão grande	Caminhão pequeno
18h30-18h45	28	171	2	1	1
Total expandido para 1h	107	630	10	5	7

Ponto 5

Tabela 13: Volume classificado de veículos no Ponto 5

Período da contagem	Moto	Carro	Ônibus	Caminhão grande	Caminhão pequeno
18h30-18h45	35	154	10	1	1
Total expandido para 1h	145	706	24	10	2

Observação: Trânsito fluindo bem

Tabela 14: Volume classificado de veículos nas conversões realizadas no ponto 5

Veículo	Conversão	Período de contagem 18h30-18h45	Total expandido para 1h
Carro	direita	36	139
	esquerda	134	516
Moto	direita	15	56
	esquerda	36	134
Ônibus	direita	1	12
	esquerda	3	36
Caminhão	direita	1	3
	esquerda	3	9

Ponto 6

Tabela 15: Volume classificado de veículos no Ponto 6

Período da contagem	Moto	Carro	Ônibus	Caminhão grande	Caminhão pequeno
18h30-18h45	64	279	6	1	1
Total expandido para 1h	286	1119	48	2	6

Observação: Trânsito lento

4.3.2 Cenário 2

Durante o desenvolvimento deste trabalho, foi verificado que a interseção sofre intervenção policial no horário escolhido para estudo do pico da manhã a fim de minimizar filas no sentido bairro-centro e evitar conversões em outras direções.

A intervenção ocorre de segunda a sexta-feira no período das 7h18 às 7h45, sujeita a variações, onde as duas pistas que passam pelo ponto 1 ficam bloqueadas e o movimento de conversão à esquerda no ponto 3 fica impedido por cones. Desta maneira, os veículos que trafegam do Sul da ilha pela SC 405 utilizam as duas faixas para se descolar no sentido Centro. A figura 14 mostra um esquema do tráfego modificado.

Figura 14: Esquema das modificações do tráfego no período da manhã



Esta modificação no tráfego prejudica a coleta de dados, pois por um intervalo de tempo não há fluxo de veículos no ponto 1 e o movimento de conversão à esquerda no ponto 3 é impedido, influenciando todos os pontos de contagem da interseção, o que dificulta a definição da demanda real.

Para a validação das modificações propostas na infraestrutura

da interseção é necessário que também seja avaliado o período de pico da manhã, de modo que os modelos desenvolvidos atendam os fluxos de veículos em ambos os sentidos nos cenários estudados.

Devido à falta de dados e dificuldades para realizar a contagem dos veículos, para permitir o desenvolvimento deste trabalho foi considerado que o fluxo no período da manhã é o inverso do período da noite. Este método é uma aproximação, porém, pelas limitações impostas a este trabalho esta medida foi adotada para que o desenvolvimento dos modelos alternativos também possa considerar o período da manhã.

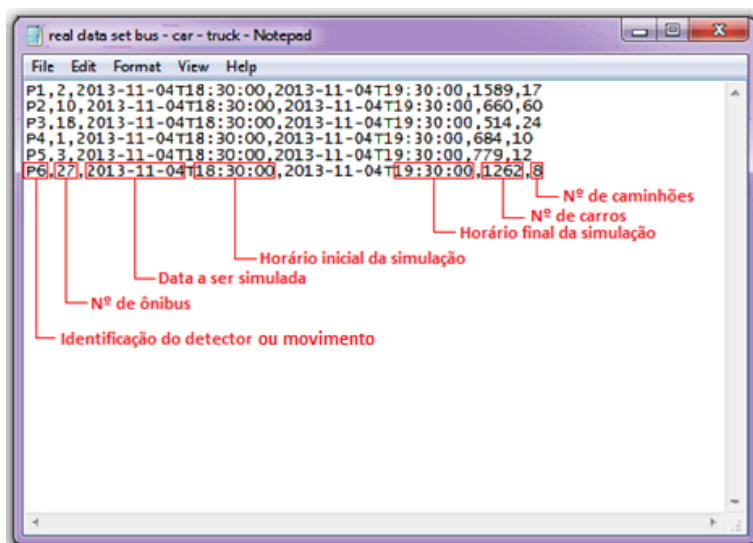
4.4 Modelagem da demanda no microssimulador Aimsun

Usualmente são utilizados equipamentos para contagem mecanizada dos veículos. Uma técnica atual é o uso de detectores por microondas que emitem feixes de baixa potência sobre a pista e registram a contagem classificada dos veículos e a velocidade (DBA, 2014), porém estes mecanismos só podem ser instalados em seções retas, não sendo utilizados em interseções. Para adaptar as contagens manuais da área de estudo deste trabalho às técnicas disponíveis no mercado atual foram primeiramente realizadas contagens em pontos que seriam adequados para a instalação de equipamentos por microondas. Desta maneira a demanda seria alocada por matrizes O/D.

Para utilizar matrizes O/D os dados pontuais das contagens são inseridos em detectores virtuais no simulador através de um conjunto de dados reais que consiste em um arquivo em formato texto (.txt), onde são identificados nome do detector, número de veículos, data e hora. Com estes dados, o simulador realiza um experimento de ajuste para criar as matrizes O/D. A figura 15 exemplifica um arquivo txt de dados reais.

Após realizar este procedimento, foi observado que o movimento simulado dos veículos utilizando a demanda por matrizes O/D não estava replicando a situação real de maneira satisfatória. A fim de obter um modelo mais representativo foi realizada a contagem das conversões dos veículos nos pontos de entrada da interseção.

Figura 15: Exemplo de um arquivo de dados reais



Com os dados dos movimentos dos veículos, a demanda foi modelada utilizando estados de tráfego, sendo inseridos os valores de contagem diretamente nos movimentos, eliminando a necessidade de realizar um ajuste, o que leva a um resultado mais representativo da situação real. A validação dos dados pode ser verificada inserindo um arquivo de dados reais com a identificação do movimento na malha e os valores atribuídos a eles. Foi observado que com os estados de tráfego houve uma melhoria no movimento simulado dos veículos. Foi utilizado um estado de tráfego para cada tipo de veículo.

A modelagem da demanda com estados de tráfego foi adequada para os cenários atual, com semáforos e com o elevado, pois os movimentos dos veículos nestas duas propostas são similares aos que ocorrem no cenário atual. Porém, na rótula o movimento de conversões dos veículos é muito diferente da coleta de dados. Para alocar a demanda no cenário com a rótula foram utilizadas matrizes O/D, obtidas pelo experimento de ajuste dos volumes pontuais dos veículos inseridos no simulador através de um conjunto de dados reais.

Para tornar os dados mais próximos da realidade, as linhas de ônibus também foram modeladas no cenário atual. Consultando informações dos itinerários e horários das linhas de ônibus nos websites das empresas INSULAR (2014) e TRANSOL (2014), que atuam no Sul da Ilha, foi possível verificar quais linhas passam pela área de estudo, nos horários analisados.

Na inserção dos dados de movimentos dos veículos o número obtido na contagem de motos foi transformado em carros. Na literatura os valores de equivalência entre motos e unidades de carros de passeio variam de acordo com as condições da via e do tráfego (PEÑA; BOCA-REJO, 2013), neste trabalho foi considerado que cada moto equivale a 0,5 carros. Quanto aos caminhões grandes e pequenos, devido à pequena diferença de tamanho observada em campo foram considerados ambos na mesma categoria.

4.4.1 Previsão de demanda futura

Na previsão da demanda futura foram consultados dados da frota de veículos, do município de Florianópolis, disponíveis no website do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN, 2013) para os anos de 2002 à 2013, distinguidos pelos veículos de interesse (carros, motos, caminhões e ônibus). Com estes dados, foi feita a relação entre ano e número de veículos e a partir desta relação a melhor curva que descreve o crescimento anual da frota foi encontrada. O anexo C contém os gráficos com esta relação para os tipos de veículos de interesse.

Para interseções, o DNIT/IPR (2006) adota um período projeção de demanda de 10 anos. Neste trabalho a previsão de demanda foi feita para o ano de 2023. Conhecida a relação de crescimento anual, foi possível obter a porcentagem que a frota aumentará para este ano e aplicar aos dados de contagem feitos na interseção. As tabelas 16, 17 e 18 contém as demandas futuras para os pontos 1,3 e 5, nos quais foram realizadas as contagens dos movimentos dos veículos.

Tabela 16: Demanda prevista para o ano de 2023 no Ponto 1

Veículo	Conversão	Demanda para 2023
Carro	em frente	1337
	esquerda	722
Ônibus	em frente	51
	esquerda	14
Caminhão	em frente	11
	esquerda	11
Moto	em frente	416
	esquerda	200

Tabela 17: Demanda prevista para o ano de 2023 no Ponto 3

Veículo	Conversão	Demanda para 2023
Carro	em frente	384
	esquerda	198
Ônibus	em frente	32
	esquerda	16
Caminhão	em frente	5
	esquerda	5
Moto	em frente	105
	esquerda	50

Tabela 18: Demanda prevista para o ano de 2023 no Ponto 5

Veículo	Conversão	Demanda para 2023
Carro	em frente	198
	esquerda	733
Ônibus	em frente	16
	esquerda	47
Caminhão	em frente	5
	esquerda	14
Moto	em frente	92
	esquerda	220

4.4.2 Validação do modelo do cenário atual

No simulador, em cada ponto de contagem, foi inserido um detector fictício que capta o volume de veículos que passam nos pontos P1, P3 e P5.

Para validar os dados de contagem inseridos é realizada uma comparação com as detecções feitas pelo Aimsun na simulação.

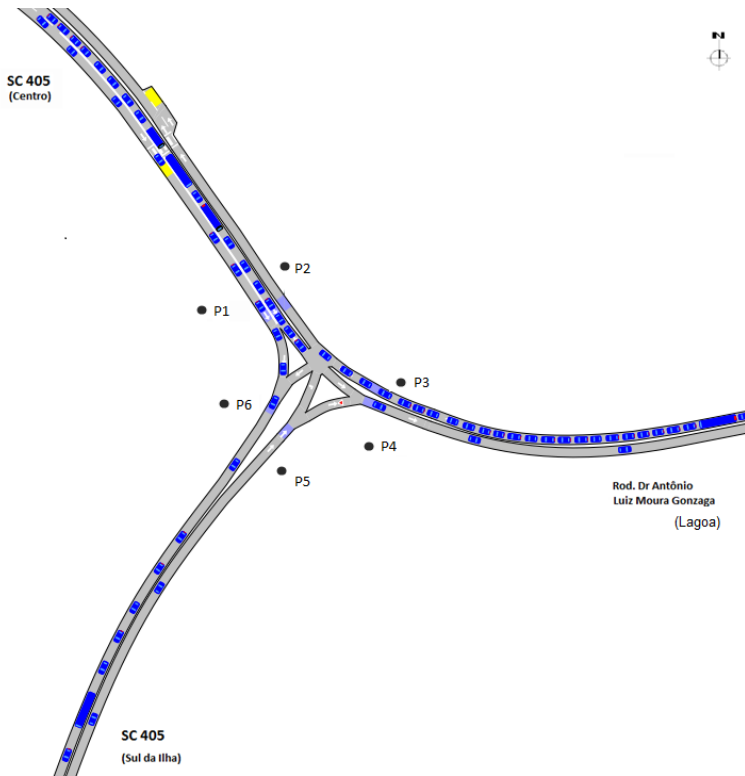
A validação é verificada para os dados de demanda coletados, neste caso apenas para o cenário atual, no período da noite.

Os resultados estão colocados na seção 5.1.

A validação de modelos de microssimulação de tráfego, além de ser baseada em valores de volume e, quando disponíveis, de velocidade, é também baseada na comparação visual do comportamento do tráfego observado em campo com o comportamento no modelo. Assim, a visualização da animação no simulador foi também importante para validar o modelo do cenário atual elaborado.

A figura 16 ilustra o modelo do cenário atual no momento da execução de uma simulação.

Figura 16: Simulação do cenário atual no período da noite (18h30-19h30)

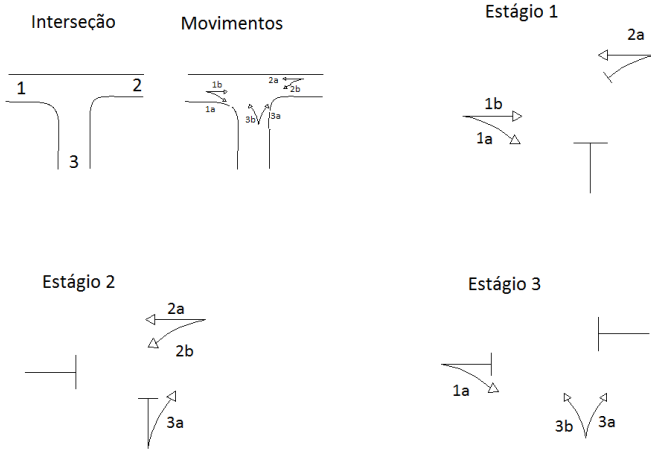


4.4.3 Cálculo do fluxo de saturação e tempo de ciclo ótimo para semáforos

Inicialmente foram propostos dois planos semafóricos para atender as variações no fluxo que ocorrem durante o dia, um priorizando o fluxo que sai do Sul da Ilha no período da manhã (sentido bairro-Centro) e outro priorizando o fluxo que entra no Sul da Ilha no período da noite (sentido Centro-bairro).

O ciclo proposto para os dois planos é o mesmo, contendo 3 estágios. A figura 17 representa a interseção e o diagrama de estágios.

Figura 17: Diagrama de estágios



Os procedimentos e expressões descritos nesta seção são relativos ao método de Webster DENATRAN (1984).

Inicialmente os fluxos de saturação para as aproximações 1, 2 e 3 foram calculados utilizando a expressão 6:

$$S = 525L \quad (6)$$

onde:

S = fluxo de saturação em unidade de veículos expresso em unidades de veículos por hora de tempo verde (Veh/htv);

L = largura da aproximação, em metros (m).

Para adequar os fluxos de saturação a situação da interseção foram aplicados os fatores de ajustamento:

- devido a composição do tráfego, onde carros tem fator 1, caminhões 1,75 e ônibus 2,25;

- devido a localização, onde locais bons equivalem a 1,20, médios a 1 e ruins a 0,85;
- devido a conversão à direita, onde acima de 10 % cada veículo equivale a 1,25 veículos;
- devido a conversão à esquerda, onde cada veículo equivale a 1,75 veículos.

A aproximação 1 é considerada como um local médio e as aproximações 2 e 3 ruins devido a menores velocidades e conversões à esquerda. A tabela 19 apresenta os valores de demanda atual no período da noite e o fluxo de saturação para as aproximações.

Tabela 19: Demanda e fluxo de saturação para as aproximações 1, 2 e 3

Aproximação	Demanda (veículos por hora)	Fluxo de saturação (Veh/htv)
1	1701	2662
2	1115	1993
3	1147	1539

A taxa de ocupação para cada aproximação é calculada com a expressão 7:

$$y = \frac{q_i}{S_i} \quad (7)$$

onde:

y = taxa de ocupação;

q_i = demanda (veículos/hora);

S_i = fluxo de saturação (veh/htv).

As taxas de ocupação das aproximações são apresentadas na tabela 20:

Tabela 20: Taxa de ocupação (y)

Aproximação	y
1	0,64
2	0,35
3	0,74

O tempo de ciclo ótimo é o tempo necessário para escoar os veículos no período de verde e é calculado com a expressão 8.

$$Co = \frac{1,5 \times T_p + 5}{1 - Y} \quad (8)$$

onde:

Co = tempo de ciclo ótimo (s);

T_p = tempo perdido total (s);

Y = somatório dos y críticos.

Por não haver concorrência de movimentos a taxa de ocupação crítica para cada estágio é a taxa de ocupação de cada aproximação, o que leva a um valor de $Y=1,73$. Ao aplicar este valor na expressão 8, o denominador fica negativo, não permitindo o calculo do ciclo ótimo.

As conversões dos veículos nas aproximações fazem com que o fluxo de saturação corrigido tenha um valor muito próximo ao valor da demanda, resultando em altos valores de taxa de ocupação. Desta maneira é possível concluir que a implantação de semáforos não é adequada a interseção de estudo e este cenário alternativo não foi modelado.

5 Resultados

Nesta seção é apresentada a validação do cenário atual, a análise e comparação das características das simulações dos cenários atual e propostos.

5.1 Validação do cenário atual

A figura 18 apresenta a relação entre os volumes de veículos inseridos nos estados de tráfego e o volume simulado para o cenário atual no período da noite. A figura 19 apresenta o gráfico gerado pelo simulador para esta relação e a validação pode ser verificada através do coeficiente de correlação R^2 para carros. Quanto menor o fluxo de veículos, menor será o valor do R^2 obtido, pois há um ajuste maior do fluxo pela função de distribuição dos veículos na malha, o que ocorreu para ônibus e caminhões. A validação também foi feita visualmente, observando se o comportamento dos veículos na simulação era similar ao comportamento real.

Figura 18: Validação dos dados de contagem

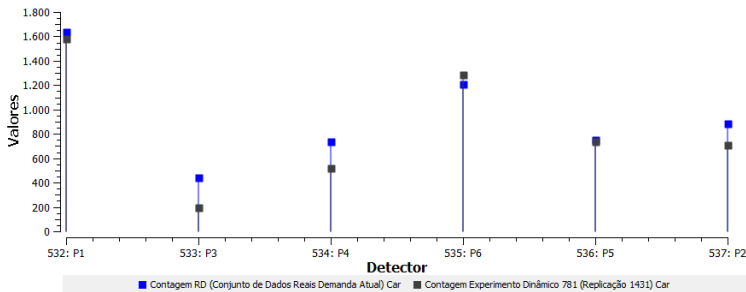
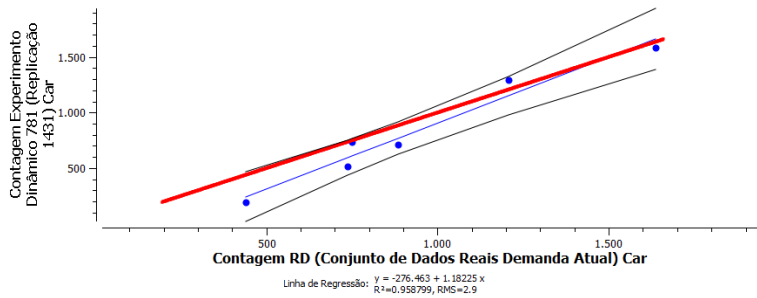


Figura 19: Validação dos dados de contagem



5.2 Características analisadas

Para cada cenário foram realizadas 5 simulações e para a análise foi utilizada a média destas simulações.

Nas seções 5.2.1 a 5.2.6 são apresentadas as figuras com resultados das simulações de cada cenário. As figuras apresentam as características: velocidade (km/h), fluxo (veículos por hora, veh/h), densidade (veh/km) e tempo de atraso (s/km). Estas características estão apresentadas por faixas de tráfego.

As figuras apresentadas possuem legendas que identificam as cores das seções das vias por faixa de valores. Cores próximas ao vermelho representam valores piores para cada característica, enquanto as cores amarelo e verde apresentam valores melhores.

5.2.1 Cenário atual - período manhã

Figura 20: Velocidade simulada para o cenário atual com demanda atual no período da manhã

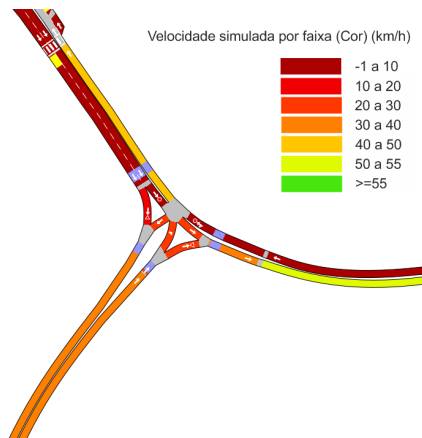


Figura 21: Fluxo simulado para o cenário atual com demanda atual no período da manhã

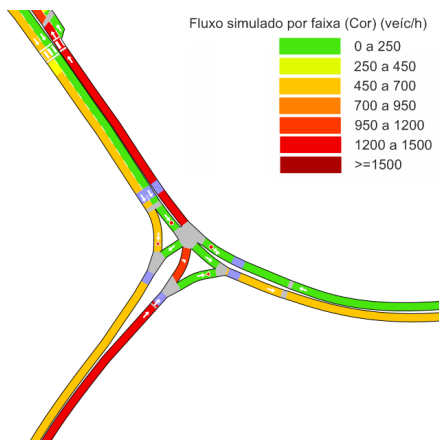


Figura 22: Densidade simulada para o cenário atual com demanda atual no período da manhã

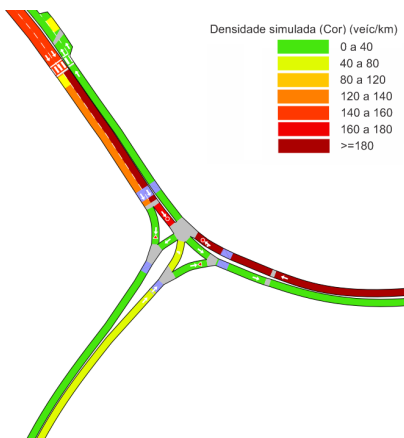


Figura 23: Tempo de atraso simulado para o cenário atual com demanda atual no período da manhã

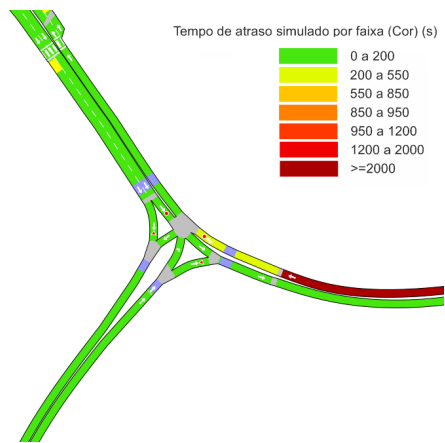


Figura 24: Velocidade simulada para o cenário atual com demanda futura no período da manhã

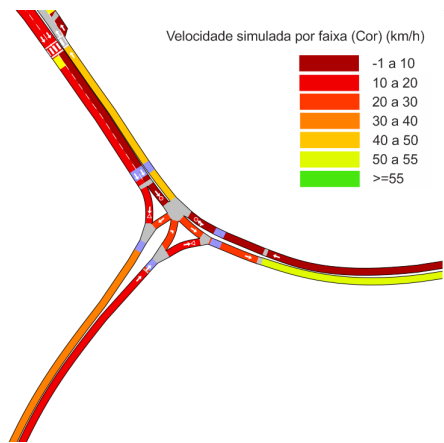


Figura 25: Fluxo simulado para o cenário atual com demanda futura no período da manhã



Figura 26: Densidade simulada para o cenário atual com demanda futura no período da manhã

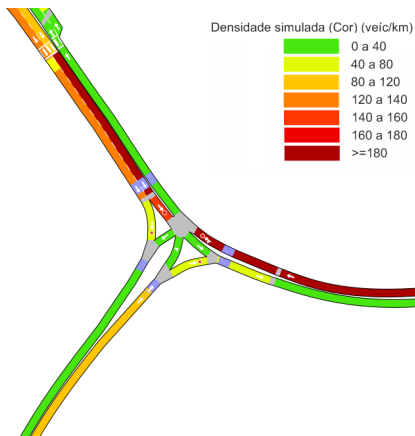


Figura 27: Tempo de atraso simulado para o cenário atual com demanda futura no período da manhã



5.2.2 Cenário atual - período noite

Figura 28: Velocidade simulada para o cenário atual com demanda atual no período da noite

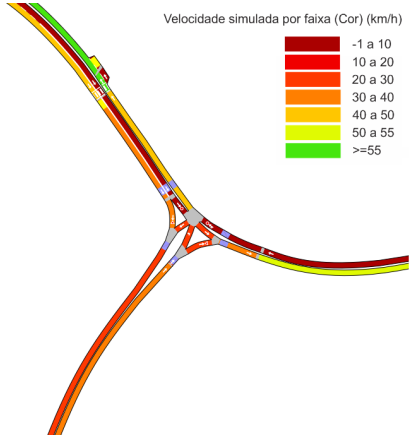


Figura 29: Fluxo simulado para o cenário atual com demanda atual no período da noite

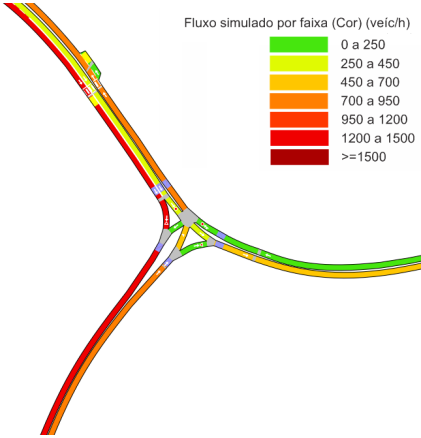


Figura 30: Densidade simulada para o cenário atual com demanda atual no período da noite

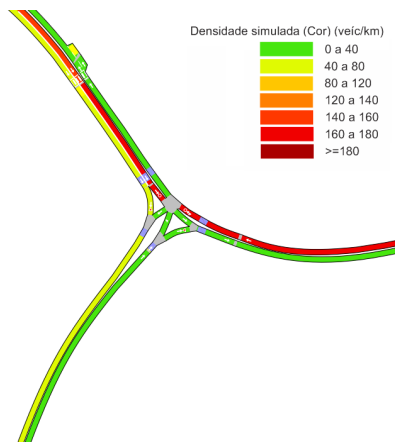


Figura 31: Tempo de atraso simulado para o cenário atual com demanda atual no período da noite

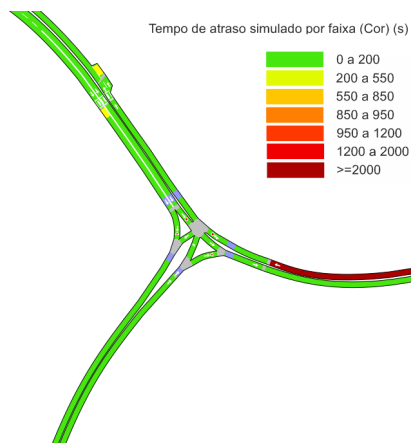


Figura 32: Velocidade simulada para o cenário atual com demanda futura no período da noite

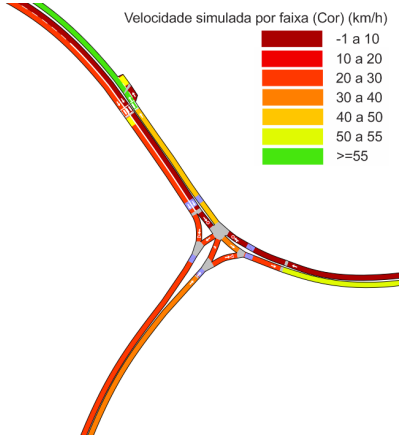


Figura 33: Fluxo simulado para o cenário atual com demanda futura no período da noite

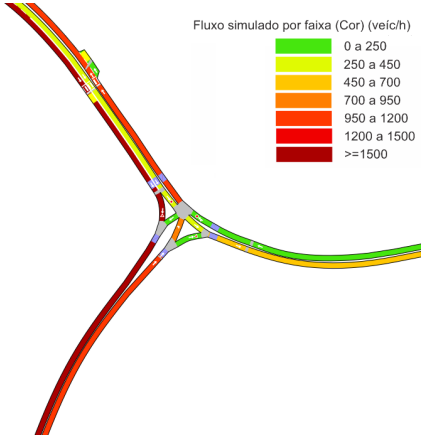


Figura 34: Densidade simulada para o cenário atual com demanda futura no período da noite

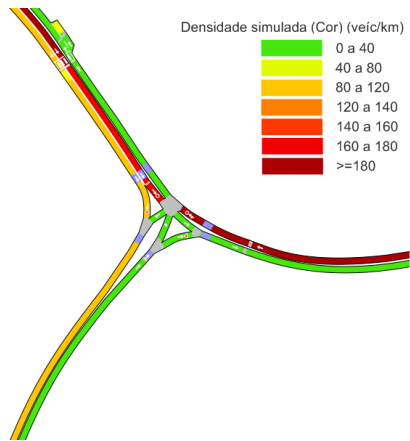
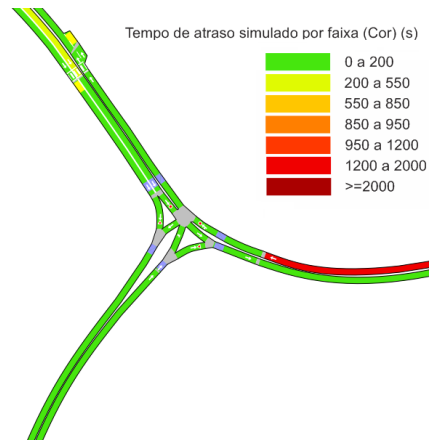


Figura 35: Tempo de atraso simulado para o cenário atual com demanda futura no período da noite



5.2.3 Cenário rótula - período manhã

Figura 36: Velocidade simulada para o cenário rótula no período da manhã

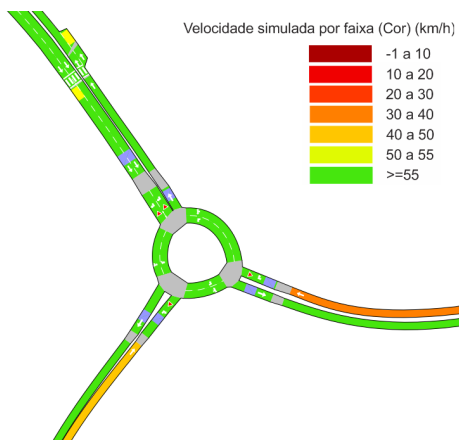


Figura 37: Fluxo simulado para o cenário rótula no período da manhã

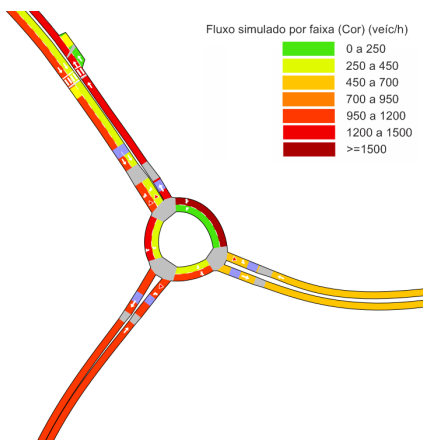


Figura 38: Densidade simulada para o cenário rótula no período da manhã

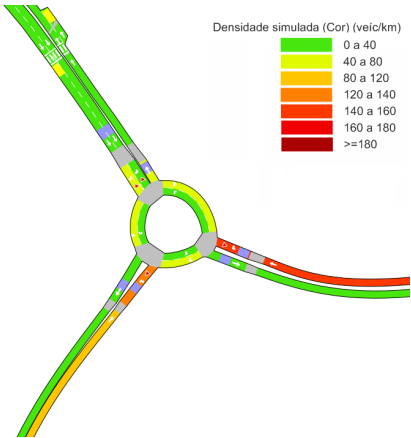
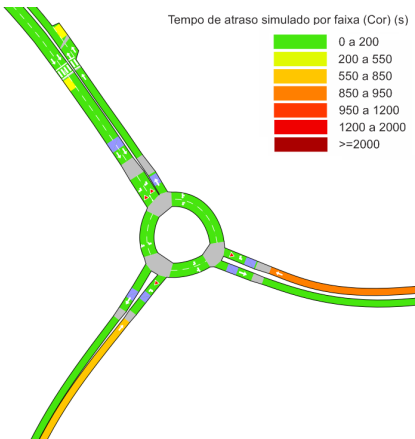


Figura 39: Tempo de atraso simulado para o cenário rótula no período da manhã



5.2.4 Cenário rótula - período noite

Figura 40: Velocidade simulada para o cenário rótula no período da noite

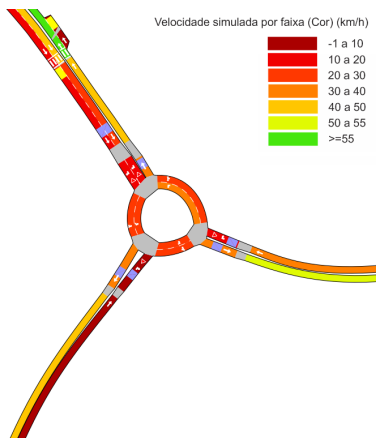


Figura 41: Fluxo simulado para o cenário rótula no período da noite

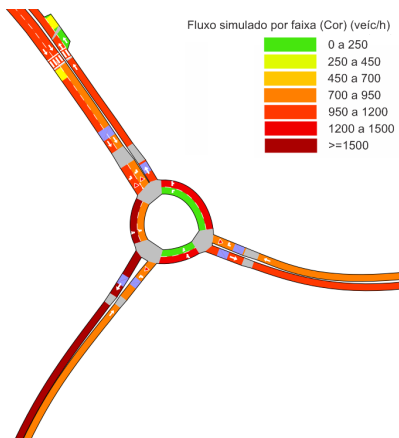


Figura 42: Densidade simulada para o cenário rótula no período da noite

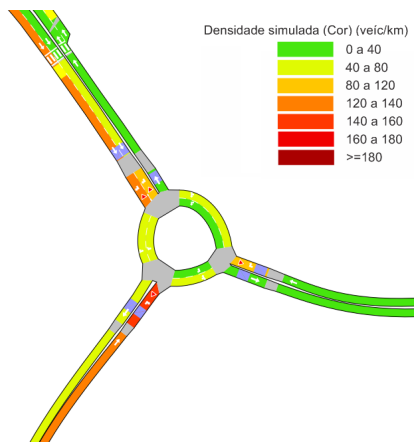
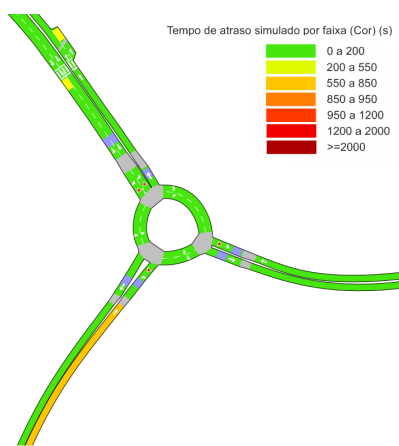


Figura 43: Tempo de atraso simulado para o cenário rótula no período da noite



5.2.5 Cenário elevado - período manhã

Figura 44: Velocidade simulada para o cenário elevado no período da manhã

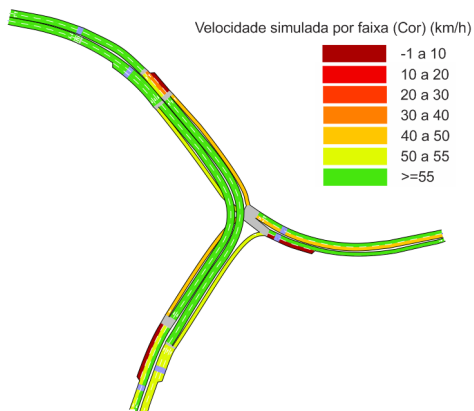


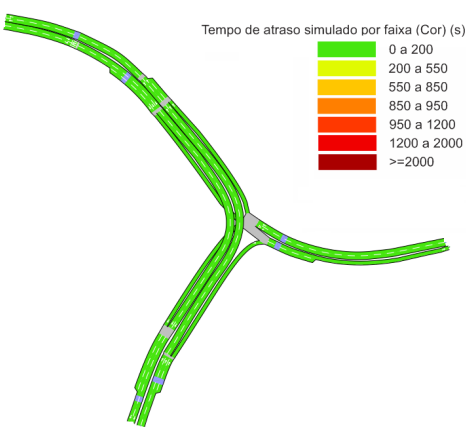
Figura 45: Fluxo simulado para o cenário elevado no período da manhã



Figura 46: Densidade simulada para o cenário elevado no período da manhã



Figura 47: Tempo de atraso simulado para o cenário elevado no período da manhã



5.2.6 Cenário elevado - período noite

Figura 48: Velocidade simulada para o cenário elevado no período da noite

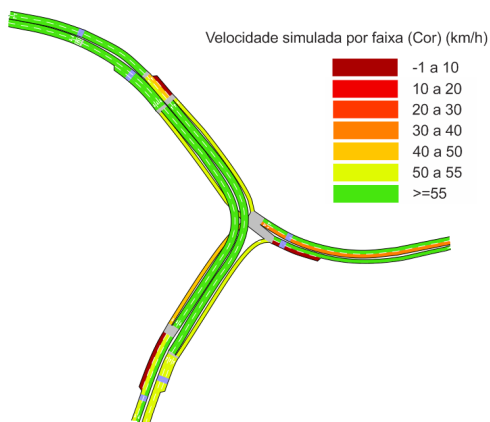


Figura 49: Fluxo simulado para o cenário elevado no período da noite



Figura 50: Densidade simulada para o cenário elevado no período da noite

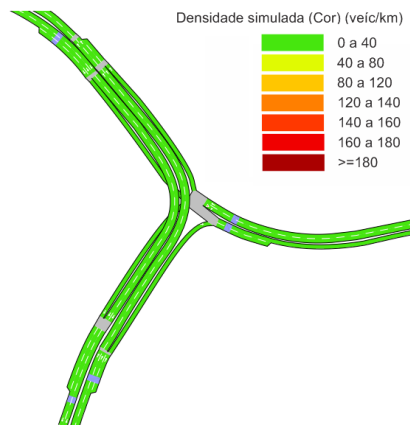
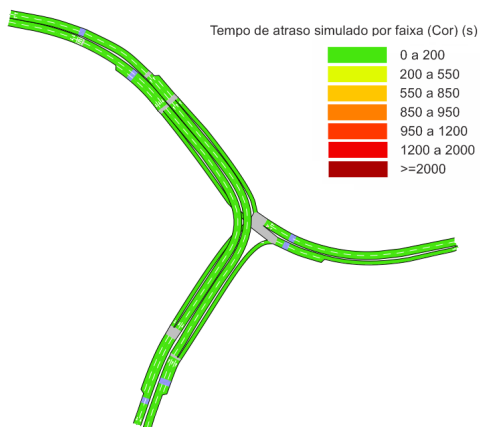


Figura 51: Tempo de atraso simulado para o cenário elevado no período da noite



5.3 Comparação dos cenários

A comparação dos cenários foi feita através de gráficos para as características velocidade, fluxo, densidade, tempo de atraso, tempo de viagem e distância de viagem. Os dados apresentados nessa seção são uma média dos valores de todos os segmentos e foram obtidos por tabelas geradas pelo Aimsun, que contém resultados das simulações do sistema como um todo.

Foram feitas comparações entre a demanda atual e futura para o cenário atual nos períodos manhã e noite e entre os cenários atual, rótula e elevado para a demanda futura nos períodos manhã e noite. As seções 5.3.1 e 5.3.2 apresentam os gráficos.

5.3.1 Comparação entre as demandas atual e futura para o cenário atual

Figura 52: Comparação da velocidade para o cenário atual com demandas atual e futura

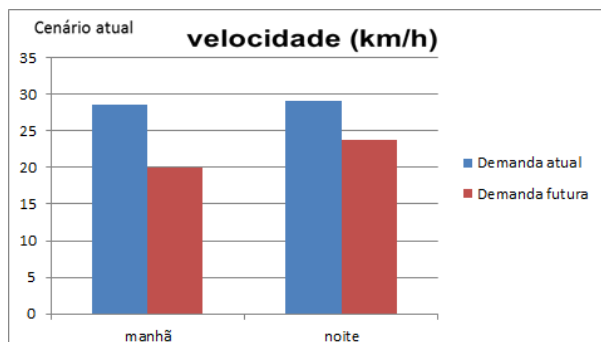


Figura 53: Comparação do fluxo para o cenário atual com demandas atual e futura

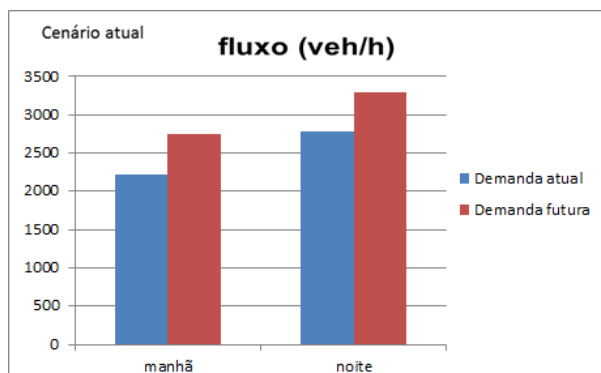


Figura 54: Comparação da densidade para o cenário atual com demandas atual e futura

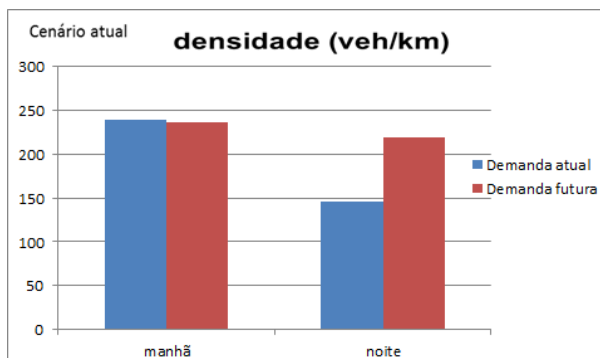


Figura 55: Comparação do tempo de atraso para o cenário atual com demandas atual e futura

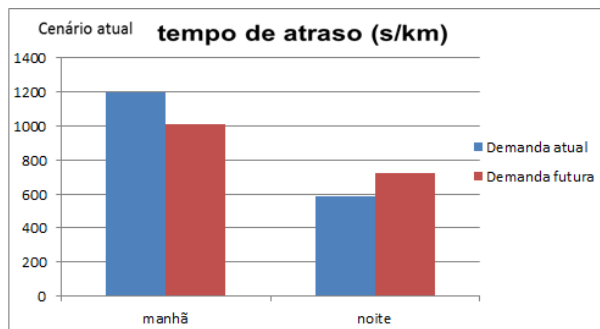


Figura 56: Comparação do tempo de viagem para o cenário atual com demandas atual e futura

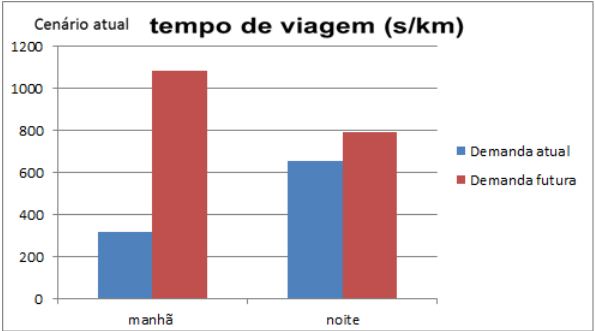
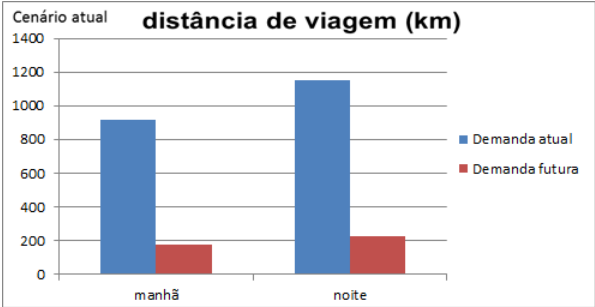


Figura 57: Comparação da distância de viagem para o cenário atual com demandas atual e futura



A partir das figuras podem ser feitas as seguintes constatações:

- Velocidade: Tanto no período da manhã quanto o da noite é verificado que a velocidade simulada é menor para a demanda futura.
- Fluxo: No período da manhã e noite há um aumento do fluxo para a demanda futura.
- Densidade: Para o período da manhã a densidade é ligeiramente menor para a demanda futura e para o período da noite há um aumento neste valor.
- Tempo de atraso: Os tempos de atraso para o período da manhã são maiores que para a noite, sendo que ele diminui para a demanda futura da manhã e aumenta para a noite.
- Tempo de viagem: Os tempos de viagem para o período da manhã e noite aumentam para a demanda futura.
- Distância de viagem: Tanto para o período da manhã quanto o da noite os valores de distância de viagem foram menores para a demanda futura.

Como as demandas para o período da manhã foram modeladas considerando que o fluxo dos veículos é o inverso do período da noite há maior possibilidade de erro nas simulações, o que justifica as discrepâncias entre as relações atual/futura para o período da manhã em relação à noite.

A distância de viagem foi menor para a demanda futura nos dois períodos pois como há um volume maior de veículos, há formação de congestionamentos e desta forma os veículos percorrem uma distância menor durante os períodos analisados.

5.3.2 Comparação entre os cenários atual, rótula e elevado

Figura 58: Comparação da velocidade entre os cenários alternativos

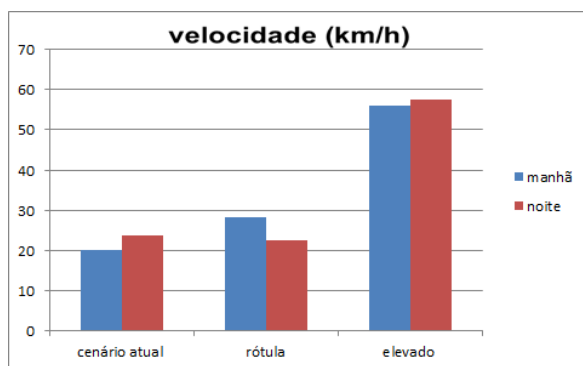


Figura 59: Comparação do fluxo para o cenário atual com demandas atual e futura

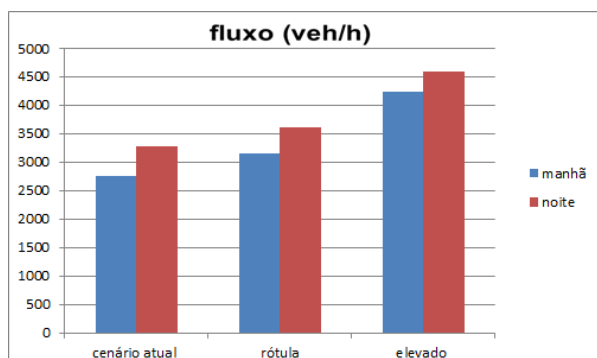


Figura 60: Comparação da densidade para o cenário atual com demandas atual e futura

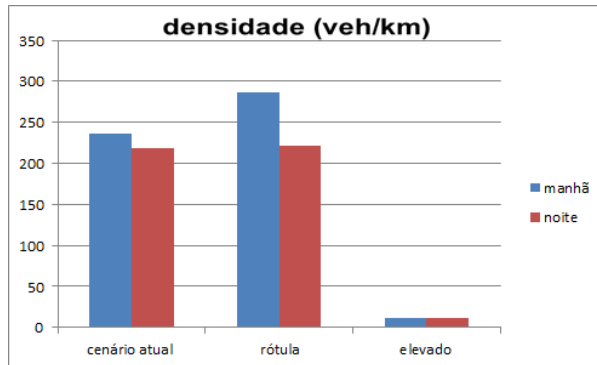


Figura 61: Comparação do tempo de atraso para o cenário atual com demandas atual e futura

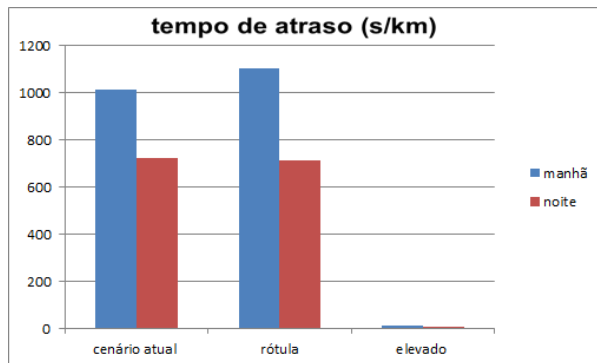


Figura 62: Comparação do tempo de viagem para o cenário atual com demandas atual e futura

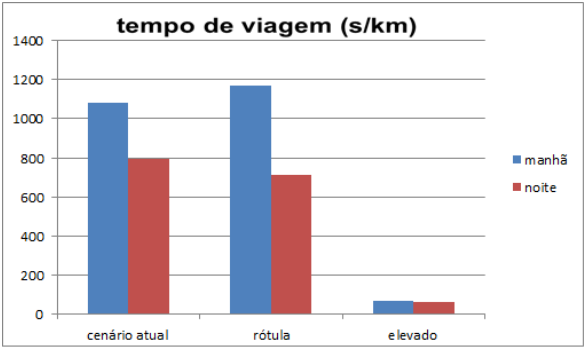
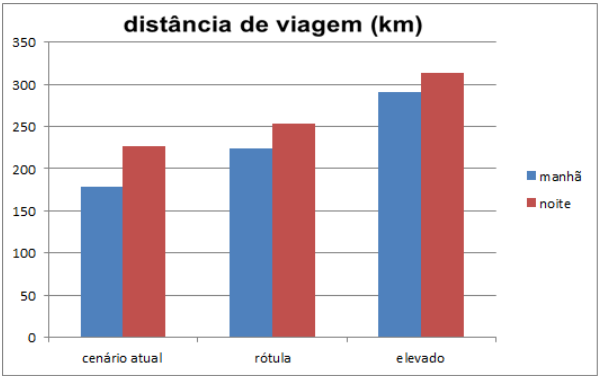


Figura 63: Comparação da distância de viagem para o cenário atual com demandas atual e futura



A partir das figuras podem ser feitas as seguintes constatações:

- Velocidade: Tanto no período da manhã quanto o da noite é verificado que a velocidade simulada do elevador é maior que a da rótula, que por sua vez é maior que a do cenário atual.
- Fluxo: O fluxo para o elevador é maior que o fluxo da rótula e do cenário atual. Os fluxos para o período da noite são maiores que os da manhã.
- Densidade: A densidade simulada para o elevador é nos dois períodos é aproximadamente 95% menor que a rótula. O valor para cenário atual noturno é 18% menor que o valor da rótula e o período noturno é similar.
- Tempo de atraso: O tempo de atraso foi o que mostrou maior diferença entre o elevador e os demais cenários. Em relação à rótula este valor foi 99% menor para os dois períodos. O valor para o cenário atual e com rótula foram semelhantes.
- Tempo de viagem: mostrou diferença entre o elevador e os demais cenários. O valor de tempo de viagem para o elevador foi 94% menor que o valor noturno da rótula e 92% menor em relação ao cenário atual no período da manhã.
- Distância de viagem: este valor foi maior para o elevador, seguido da rótula e o cenário atual.

6 Conclusões

Este trabalho apresentou a microsimulação como ferramenta para analisar o tráfego nesta interseção, permitindo o estudo de alternativas à infraestrutura atual.

Para poder modelar a demanda no período da manhã, a hipótese de que o fluxo da manhã é o inverso da noite foi adotada. Entretanto deve ser ressaltado novamente que esta suposição foi feita somente para ser possível realizar a modelagem de um cenário neste período.

Além disso, definir os horários de pico antes de possuir dados volumétricos não é o que está previsto nas práticas da Engenharia de Tráfego. Porém esta medida foi necessária para poderem ser criados os cenários e feitas as comparações, da mesma forma como seria feito se estivessem disponíveis os dados adequados. Análises para os cenários atual e propostos devem ser feitas com dados coletados em um período maior de acordo com o previsto em (DNIT/IPR, 2006).

A coleta de dados foi realizada no período da noite. Algumas dificuldades ocorreram o posicionamento nos pontos de contagem pela falta de faixas para pedestres. Na realização da contagem ocorreram dificuldades para anotar os dados devido ao alto fluxo de veículos que passa pelo local.

No simulador foram modelados para o período da manhã e noite os cenários atual, com rótula e elevado. Inicialmente um cenário para a implantação de semáforos com algumas modificações na infraestrutura atual também foi modelado, porém ao realizar os cálculos do fluxo de saturação e ciclo ótimo foi concluído que esta alternativa não é adequada para a interseção de estudo.

A modelagem dos demais cenários permitiu a comparação das alternativas. Apesar do cenário com a rótula apresentar melhorias nas características velocidade, fluxo e distância de viagem analisadas em relação ao cenário atual, em outros, como densidade e tempo de atraso, os resultados foram piores. Estes valores piores podem ter ocorridos devido aos movimentos serem diferentes dos realizados no cenário atual, necessitando que a modelagem demanda fosse feita utilizando matrizes O/D ajustadas.

A melhor alternativa estudada foi o elevado, que apresentou melhorias em todas as características analisadas, com ênfase no tempo de viagem, densidade e principalmente o tempo de atraso, com valor 99% menor que o cenário atual.

A implantação de um elevado, contudo, eliminaria os congestionamentos somente na interseção analisada. É de se esperar que o acúmulo de veículos hoje existente seja transferido para pontos a jusante das aproximações. Para analisar o problema de forma mais abrangente, a malha viária deveria ser também analisada de forma mais abrangente. O software utilizado permite a modelagem, por exemplo, de toda a malha viária urbana do município. A dificuldade reside na obtenção dos dados de infraestrutura e de demanda no nível de detalhe compatível com a técnica da microsimulação.

Como sugestão para trabalhos futuros é interessante que o elevado proposto seja comparado com o elevado a ser construído devido a diferença na geometria.

Referências

- ALEXIADIS, V. e. a. *Traffic Analysis Toolbox Volume I: Traffic Analysis Tools Primer*. [S.l.], 2004.
- BARCELÓ, J. *Fundamentals of Traffic Simulation*. [S.l.]: Springer, 2010.
- BARCELÓ, J. et al. Assessment of incident management strategies using aimsun. In: *8th World Congress on Intelligent Transport Systems*. [S.l.: s.n.], 2001.
- BONATTI, R. A. *Desenvolvimento de modelo para a gestão de sistemas de trânsito em situações de contingência de inundações*. Dissertação (Mestrado) — Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.
- BURGHOUT, W. Mesoscopic simulation models for short-term prediction. *PREDIKT project report CTR2005*, v. 3, 2005.
- CLICRBS. 2014. Disponível em: <<http://diariocatarinense.clicrbs.com.br/sc/geral/noticia/2014/02/projeto-do-elevado-do-rio-tavares-fica-pronto-para-desafogar-sul-da-ilha-4416056.html>>. Acesso em: 6.4.2014.
- DBA, T. 2014. Disponível em: <http://dba.eng.br/wp-content/uploads/2013/02/ficha_dba_MO.pdf>. Acesso em: 26.6.2014.
- DENATRAN. *Manual de Semáforos*. 2. ed. [S.l.], 1984.
- DENATRAN. 2013. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/frota.htm>>. Acesso em: 25.5.2014.
- DNIT/IPR. *Manual de projetos de interseções*. Rio de Janeiro, 2005.
- DNIT/IPR. *Manual de Estudos de Tráfego*. Rio de Janeiro, 2006.
- ELEFTERIADOU, L. *An Introduction To Traffic Flow Theory*. [S.l.]: Springer, 2014.
- HAAS, C. P. Assessing developments using aimsun. In: *Institution of Professional Engineers New Zealand. Annual conference 2001*. [S.l.: s.n.], 2001.
- INSULAR. 2014. Disponível em: <<http://www.insulartc.com.br/>>. Acesso em: 2.5.2014.
- JONES, S. L.; SULLIVAN, A. J.; ANDERSON, M. D. *Traffic simulation software comparison study*. [S.l.], 2004.
- MACEDO, J. M.; BENTA, A. Seleção da tipologia de uma intersecção utilizando um simulador microscópico de tráfego um caso de estudo. 2013.
- MORRIS, R.; SYKES, P. Building and reporting on microsimulation models. *JCT Signals Symposium*, p. setembro, 2005.

- NETO, J. T. B. *Avaliação da proposta de readequação da rotatória av. Aguanabi x br-116 utilizando a microssimulação*. 2013. Monografia.
- PEÑA, A. J.; BOCAREJO, J. P. Determination of motorcycle passenger car equivalence for uninterrupted flow in an urban road of medellin, colombia. *TRB 2014 Annual Meeting*, 2013.
- RODEGERDTS, L. et al. *Roundabouts: An Informational Guide*. Washington, D.C., 2010.
- SILVA, A. B. et al. Microssimulação aplicada aos estudos de acessibilidade. *7º Congresso Rodoviário Português*, CRP-Centro Rodoviário Português, 2013.
- TRANSOL. 2014. Disponível em: <<http://www.transoltc.com.br>>. Acesso em: 2.5.2014.
- TSS. *Aimsun 7 Dynamic Simulators User's Manual*. [S.l.], 2012.
- TSS. *Aimsun 7 Users' Manual*. [S.l.], 2012.
- VASCONCELOS, A. L. P. *Modelos de atribuição/simulação de tráfego: o impacto na qualidade dos resultados de erros no processo de modelação*. Tese (Doutorado) — Universidade de Coimbra, 2004.
- VILARINHO, C. A. T. *Calibração de modelos microscópicos de simulação de tráfego em redes urbanas*. Dissertação (Mestrado) — Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008.

A Planilha utilizada para contagem dos veículos

PLANILHA DE CONTAGEM

Ponto, local: _____ Data: _____ Horário de início: _____

Cenário ☐ manhã ☐ noite

PERÍODO	MOTO	CARRO	CAMINHÃO PEQUENO	CAMINHÃO GRANDE	ÔNIBUS	OBSERVAÇÕES
18:30-18:45						
18:45-19:00						
19:00-19:15						
19:15-19:30						

B Planilha utilizada para contagem das conversões dos veículos

PLANILHA DE CONTAGEM DE CONVERSÕES

Ponto, local: _____ Data: _____ Horário de início: _____

Cenário ☐ noite

		Período da contagem
Veículo	Conversão	18:30-18:45
Carro	Direita	
	Esquerda	
Moto	Direita	
	Esquerda	
Ônibus	Direita	
	Esquerda	
Caminhão	Direita	
	Esquerda	

Obs:

C Relação entre ano e número de veículos

